# ЕКОЛОГІЧНА МІКРОМОРФОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.42

А. П. Травлеев, Recio Espejo, J. M., Н. А. Белова, Е. В. Кузнецов,
А. К. Балалаев, В. Е. Кузнецов

*«Частицы, составляющие тела, недоступны нашим чувствам, поэтому они нечувствительны. Для познания их нужен переход от чувственного познания к разумному, возвыситься до идей и теорий».*
*М. В. Ломоносов*

*«Знание может быть только синтезом чувственности и рассудка».*
*И. Кант*

## МИКРОМОРФОЛОГИЯ ЛЕССИВАЖНЫХ ПРОЦЕССОВ В БАЙРАЧНЫХ ЛЕСНЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ

А. П. Травлєєв[1], Jose Manuel Recio Espej[2], Н. А. Білова[1], Є. В. Кузнецов[3],
О. К. Балалаєв[1], В. Є. Кузнецов[3]

[1]*Дніпропетровський національний університет*
[2]*Кордобський університет*
[3]*Національна металургійна академія України*

МІКРОМОРФОЛОГІЯ ЛЕСИВАЖНИХ ПРОЦЕСІВ У БАЙРАЧНИХ ЛІСОВИХ ЧОРНОЗЕМАХ СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Досліджується ґрунтова мікроструктура байрачного лісового чорнозему. Викладено теорію процесу механічного переміщення ґрунтових часток за профілем. Знайдено наслідки лесиважу в порових проміжках ґрунтових шліфів. Проведено комп'ютерний аналіз геометричних характеристик ґрунтових часток, які підпадають під дію міграції.

*Ключові слова: ґрунт, ліс, лесиваж, вібрація, модель структур, ґрунтовий шліф, аналіз зображення.*

A. P. Travleev[1], Jose Manuel Recio Espej[2], N. A. Belova[1], J. V. Kuuznetzov[3],
A. K. Balalajev[1], V. J. Kuuznetzov[3]

[1]*Dnipropetrovsk National University*
[2]*Universidad de Córdoba, España*
[3] *National Metallurgical Academy of Ukraine*

MICROMORPHOLODGY OF THE INTERSOIL PROCESSES TYPICAL FOR RAVINE FORESTS' CHERNOZEM OF THE UKRAINIAN STEPPE ZONE

The soil microstructure of the ravine forests' chernozem was investigated in the present article. The theory of the mechanical transfer of soil fractions is suggested. There were also found aftereffects of such an intersoil processes running in the pore spaces of soil slices. Computer analysis of the geometrical adjectives of the migratory soil corpuscles was applied.

*Keywords: soil, forest, vibration, structure model, soil slice, pattern analysis.*

© Травлеев А. П., Recio Espejo, J. M., Белова Н. А., Кузнецов Е. В.,
Балалаев А. К., Кузнецов В. Е., 2007

Прошло полстолетия, когда черные бури и суховеи в степной зоне волею человека практически прекратили свое губительное воздействие на окружающую среду.

Древние летописи свидетельствуют о том, что на протяжении многих веков жестокие засухи и пыльные бури свирепствовали в степях, нанося чрезвычайно большой ущерб земледелию и здоровью человека (Вербин, 1948).

Во вступительной статье к книге В. В. Докучаева «Наши степи прежде и теперь», изданной в 1892 году в пользу пострадавших от неурожая, В. Р. Вильямс и З. С. Филиппович (1936) отмечают: «…в 1891 г. почти всю черноземную полосу постигают засуха, и, как неизбежный результат этих явлений, страшный голод». В. В. Докучаев не остается в стороне, он задумывается над вопросом, как предотвратить такие бедствия, поскольку «…только на основе изучения причин засухи можно разработать действительные меры борьбы с ней…» (с. 5).

Дальнейшее развитие этих идей получило воплощение в так называемом комплексе Докучаева – Вильямса – Костычева, «где были предусмотрены передовые 10–12-польные системы земледелия, использование многолетних трав, создание черных паров, полезащитных лесных насаждений, улучшающих микроклимат и местный климат, превращающих поверхностный сток воды в глубинный» (Сапожников, 1950). Возникли системы орошения, пруды и водоемы, рукотворные моря на Днепре. Эти меры обеспечили оптимальную обводненность территории, изменили микроклимат сухой степи до уровня, когда проявление суховеев и пыльных бурь, по-существу, прекратилось.

В последнее время возникла угроза беспорядочного уничтожения полезащитных насаждений, байрачных и долинных лесов, искусственных лесных массивов на водоразделах. Почти полностью уничтожены орошаемые поля, идет массовое «внедрение» двух, реже – трехпольных стихийных так называемых «систем земледелия».

Бесхозяйственное отношение к черноземным почвам уже частично привело к разрушению комплекса защитных мер от засух и суховеев. Об этом свидетельствуют первые проявления пыльных бурь, возникших весной 2007 г. в южных районах страны.

Как известно, из общего земельного фонда Украины (60,4 млн га) в настоящее время распахано 34 млн га земель, то есть более 50 %. Во всем мире, в том числе в бывшем Союзе, размеры пахотных земель не превышали 10–12 % от общей площади территории. Министерство аграрной политики Украины, украинская Академия аграрных наук, Институт земледелия УААН, коллектив сотрудников (Рижук, Сорока, Жилкин, Ситник, Коваленко, Тарарико, Сайко, Мазур, Корнийчук, Шевченко, Дегодюк, Гамалей, Ступенко, Слюсар, Боговин, Медведев, Булыгин, Новаковский, Добряк) предложили рациональное научное решение сокращения пахотного клина страны на 9–10 млн га за счет неудобных и эрозионноопасных земель с целью создания полезащитных лесных насаждений (взамен стадийно устаревших) и увеличения площадей сенокосов и пастбищ (Сайко, 1996, 2000).

В соответствии с постановлением Кабинета Министров Украины от 29.04.02 г. № 581 «Об утверждении Государственной программы «Леса Украины» на 2002–2015 гг.» указывается, что «фактическая лесистость територии страны (15,6 %) является недостаточной. Для достижения оптимальних ее показателей (в границах 19–20 %) необходимо увеличить площадь лесов не менее чем на 2–2,5 млн га. Мероприятия для создания защитных лесных насаджений и полезащитных лесных полос (облесение неудобных земель, малопродуктивных, деградированных, техногенно загрязненных земель) направлены на охрану окружающей среды, преодоление основных дестабилизирующих факторов, экологической ситуации, эрозии почв и истощения рек».

В связи с этим для лесоводов и лесных почвоведов степной зоны проблемы конструкции лесных культурбиогеоценозов, углубленные исследования лесорастительных условий вновь становятся как никогда актуальными.

Лесное почвоведение – наука синтетическая (Зонн, 1953; Сукачев, 1964). В экологическом почвоведении, как и в любой другой науке, имеется ряд явлений, не нашедших до сих пор удовлетворительного объяснения (Карпачевский, 1995; 2005). По нашому мнению, к таким проблемам необходимо отнести взаимоотношения лесной растительности с почвами в степи.

Мы вынуждены вновь напомнить, что на пути решения этой противоречивой проблемы возникло, как известно, два течения, охарактеризованные еще И. В. Тюриным (1930), который по поручению организационного комитета 2-го Международного почвенного конгресса подготовил доклад на тему «К вопросу о генезисе и классификации лесостепных и «лесных» почв» (с. 430).

Первое направление возглавлял академик С. И. Коржинский (1886, 1887), который считал, что лесная растительность наступает на степь и постепенно черноземные почвы превращаются в серые лесные. Продвигаясь на север, влияние лесной растительности усиливается вплоть до образования подзолов. Такое явление ученый назвал деградацией черноземов.

Вопрос о характере взаимовлияний лесной растительности со степными почвами не является праздным. Если бы лесная растительность в результате взаимодействия с почвой «уничтожала черноземы», то теряется разумная основа стремления лесоводов и агрономов к созданию в степи 16 % оптимальной лесистости путем посадки защитных лесных насаждений для получения высоких и устойчивых урожаев. В. В. Докучаев в «Русском черноземе» подчеркивает, что серые лесные почвы, по его мнению, – это не результат деградации черноземов, а самостоятельно развивающийся в определенных условиях тип почв.

В 1948 г. при Институте леса Академии наук СССР была создана Комплексная экспедиция по полезащитному лесоразведению во главе с В. Н. Сукачевым. Участвуя в работе Комплексной экспедиции, С. В. Зонн, В. Н. Мина (1951) на основании собственных исследований почв под естественными и искусственными лесами в степной зоне отвергли гипотезу о деградации черноземных почв под влиянием леса.

В. Г. Стадниченко (1955) черноземные почвы в дубравах Велико-Анадольского леса назвал «лесоулучшенными».

Н. А. Димо (1959) обнаружил в лесах Молдавии лесные черноземы**:** «**…**приведенные примеры из большого количества фактов, широко распространенных в лесах Молдавии почв, мало отличающихся от степных, являются достаточными, чтобы с полным основанием называть их **лесными черноземами**. Изучению этих почв необходимо уделить должное внимание…» (1958, с. 25).

И. А. Крупеников (1959) в работе «Лесные черноземы как особый вид почв черноземного типа», а также в монографии «Черноземы Молдавии» (1967, с.148, 149, 191, 408) подчеркивает о наличии в Молдавии лесных черноземов, мезофитно-лесных черноземов». Ксерофитно-лесные почвы гырнецовых дубрав Молдавии ученый относит к черноземному генетическому типу почвообразования.

Материалы, полученные Комплексной экспедицией по изучению лесов степной зоны Днепропетровского государственного университета, руководимой проф. А. Л. Бельгардом, которая работала в лесах Молдавии на протяжении двух сезонов (1966, 1967 гг.), полностью подтвердили выводы, сделанные Н. А. Димо, И. А. Крупенниковым, И. П. Канивцем, А. Ф. Урсу, А. К. Родиной и другими исследователями почв Молдавии (коллективная монография «Гербовецкий лес», 1970, 273 с.).

Итоги 56-летних работ Комплексной экспедиции ДГУ по изучению лесов степной зоны показывают, что на юге Украины и в Молдавии под естественными лесами на водоразделах формируются виды почв, несущие на себе печать зонального черноземного типа почвообразования (В. Г. Стадниченко, А. Л. Бельгард, Л. В. Рейнгард, А. П. Травлеев, Л. Г. Апостолов, А. Г. Топчиев, Н. Н. Цветкова, А. А. Дубина, Л. П. Травлеев, В. Н. Зверковский, Ю. И. Грицан, Н. А. Белова, В. Я. Яковенко, А. К. Балалаев и др.) Итоги многолетних работ в лесах степной зоны Комплексной экспедиции ДГУ (ныне – ДНУ) послужили фундаментом для создания проф. А. Л. Бельгардом новой науки «Степное лесоведение» – теоретической основы степного лесоводства и лесоразведения (М.: Лесн. пром-сть, 1971). Исследования, проведенные под руководством А. А. Роде и Е. А. Афанасьевой на Казацком участке Центрального черноземного заповедника на постоянном профиле лес – опушка – степь, где сохранилась целинная растительность с участками дубового леса в местах их естественного контакта (Герцык, 1965, с. 321), дали фактический материал, на основании которого можно сделать вывод, что лес, поселяясь на черноземы, не всегда их оподзоливает.

«Усиление влагооборота под лесом, особенно в его приопушечной части, ведет к усилению биологического круговорота в системе почва – растение, что является одной из главных причин, улучшающих условия роста и развития лесной растительности и способствует сохранению черноземных свойств почв под лесом».

Теоретическую основу этим явлениям предложил С. В. Зонн (1964), который в монографии «Высокогорные лесные почвы восточного Тибета» отмечает: «***Положение, основанное на учении об оподзоливающей роли древесных пород, уже устарело и не может быть признано общим… все это подтверждает не моно-, а политипность взаимодействий древесной растительности с почвами, что определяется неразрывностью связи их с климатическими условиями; по своей природе они не биогенные, а биоклиматогенные» (с. 57-58).*** Большую роль в развитии биогеоценологического почвоведения сыграла неодокучаевская парадигма И. П. Герасимова (1972) свойства ← процессы ← факторы. Участвуя в разработке этой парадигмы, С. В. Зонн (1989) расширил ее применение к тропическому почвообразованию. Эта триада открывает новые теоретические возможности понимать, что в условиях степи факторы среды в так называемом «прецессионном блоке» управляют биогеохимическими превращениями, часто не выходящими за пределы контролируемых макроклиматических зональных и литосферных характеристик. Из этого вытекает, что свойства почвенного профиля как явление «итоговое» находятся в экологическом соответствии с сущностью сложных биогеохимических превращений, протекающих в прецессионном блоке. Еще раз подчеркнем, что в условиях настоящих степей полностью подтверждается парадигма С. В. Зонна (1964, с. 58) о «не биогенном, а биоклиматогенном влиянии древесных растений на почву».

О том, что лесная растительность улучшает черноземные почвы в степи, является совершенно доказанным многолетними исследованиями нескольких поколений лесных почвоведов, и эта истина в настоящее время большинством исследователей не подвергается сомнению. Вместе с тем пути своеобразного лесного почвообразования в степи, механизмы процессов на макро- и особенно на микро- и наноуровнях исследований, остаются недостаточно ясными.

Мы присоединяемся к А. И. Ромашкевич и М. И. Герасимовой (1982, с. 111), которые утверждают, что «…в известной мере мы научились разбираться в типах строения минеральной тонкодисперсной массы и определять их. Мы можем также объяснять другие свойства почв тем или иным типом строения дисперсного материала, Вместе с тем весьма предположительным остаются процессы, в результате которых создаются разные типы строения плазмы. По-видимому, необходимы эксперименты или модельные опыты с имитацией образования разного рода строений дисперсного материала в разных условиях. Только в этом случае мы будем иметь более ясные представления о характере оглинивания».

Наличие в лесных черноземах байрачных лесов заметной дифференциации почвенного профиля на элювиальный и иллювиальный (внешне напоминающего подзолистый ряд почв) носит конвергентный характер (сходство при отсутствии родства), когда внешне явления находятся морфологически близкими, но генетически имеют совершенно разные эволюционные направления (Шенников, 1929). И. А. Крупеников (1967) отмечает, что выщелоченные черноземы Молдавии имеют слабовыраженный иллювиальный горизонт, а по остальным признакам близки к типичным.

В связи с этим значительный интерес вызывает явление лессиважа, открытое Г. Обером (1963) и Ф. Дюшофуром (1970), когда лессиваж как элементарный почвенный процесс связан с выносом ила из верхней элювиальной толщи и накоплением его в нижнем иллювиальном горизонте.

Известным доказательством простого перемещения тонких фракций в лесных черноземах является тот факт, что валовый химический состав илистой фракции, в частности молекулярных соотношений $SiO_2 : Al_2O_3$ и $SiO_2 : Fe_2O_3$, не испытывает значительных изменений во всех горизонтах (Герасимов, 1960)

Микроморфологические исследования дают возможность документировать перемещение воднопептизированного ила (в понимании Н. И. Горбунова, 1973; А. Н. Соколовского, 1971), обилие натечной слоистой ориентированной глины по

порам и микротрещинам, глинистые пленки по граням структурных отдельностей, формирование кутан.

Дальнейшее познание лессиважных процессов необходимо строить на заимствовании подходов и приёмов из смежных дисциплин. Процесс лессиважа – сложное явление в кинетике почв, до сих пор не нашедшее исчерпывающего объяснения, одной из характерных черт которого является транспортировка определённых почвенных элементов в глубинные почвенные горизонты (Герасимов, 1960; Дюшофур, 1970). Лесные почвоведы подчеркивают, что явление лессиважа в той или иной мере присуще и другим типам почв – дерновым лесным, бурым и серым лесным почвам. Хотя эти почвы находятся в самых разных географических и климатических зонах с самой разной лесной растительностью, однако в них имеют место в том или ином виде явления лессиважа..

Экспериментальные работы биофизика М. В. Нецветова (2003, 2007), посвященные исследованию вертикального перемещения микрочастиц в лесной почве под действием сверхнизких частот, показали, что «…вибрации, характеризующиеся сверхнизкими частотами, свойственными для деревьев, могут как индуцировать, так и ускорять механическое перемещение частиц, придавая им определенное ускорение. Величина вибрационного эффекта на частотах ниже 2 Гц определяется как амплитудой колебаний, так и частотой и имеет степенную зависимость от последней. На частотах, превышающих 10 Гц, значение амплитуды колебаний уменьшается, а частоты увеличиваются. В естественных условиях величина смещения стволов и корней деревьев при раскачивании ветром будет иметь существенное значение лишь на очень малых частотах колебаний».

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Понимая всю сложность биогеохимических процессов, протекающих в почве, мы считаем возможным и необходимым исследовать некоторые физические показатели, которые в полной мере связаны с процессами почвообразования (Шеин, 2007).

Из обширного круга всевозможных механических явлений, способных влиять на почвенные процессы, в первую очередь следует выделить колебательное движение, вибрацию, присущие всем без исключения природным явлениям. Известно, что в составе общей биомассы высших растений, в том числе и древесной растительности, до 70 % составляет биомасса, находящаяся в почве. Древесная растительность в отличие от травянистой с механической точки зрения составляет вместе с подземной частью единую целую («монолитную») механическую систему, обладающую определенной жёсткостью и упругостью. Под этими свойствами с механической точки зрения понимается способность воспринимать внешние нагрузки с соответствующей этой нагрузке величиной упругой деформации и возвратом в номинальное состояние после снятия нагрузки. Однако при наличии упругости и накопления вследствие этого потенциальной энергии остановки в номинальном положении не происходит и объект воздействия (ствол дерева, ветка и т. п.) перемещается в противоположном от номинального положении направлении до определённого предела, а затем движение начинается в обратном направлении с повторением циклов. Это общеизвестные представления о природе колебательных движений всех природных объектов. Рассматриваемая единая механическая система дерева с надземной и подземной частями по означенным причинам также является объектом колебательного движения. Как известно, для возникновения колебательного движения необходима внешняя вынуждающая сила. Такой силой по отношению к деревьям является ветровая нагрузка, действующая на кроны, сучья и стволы, практически присутствующая в природной среде большую часть времени независимо от времени суток и года.

Структура механической системы дерева в полном объёме является весьма сложной колебательной системой, так как она включает в себя множество элементарных колебательных систем ввиду наличия большого количества элементов, обладающих своими массами, жёсткостью, упругостью. Это обусловливает возникновение широкого спектра колебаний со своими собственными частотами. Вторым важным последствием возникающих колебаний является их влияние на почвенные про-

цессы. Колебания могут происходить в двух режимах: с частотой вынужденных колебаний возбуждающей силы и возникающих колебаний под действием возбуждающей силы с собственной частотой, обусловленной частотными характеристиками объекта. Широко известно об особенностях резонансного режима колебаний при совпадении вынуждающих колебаний с собственной частотой того или иного объекта, когда на осуществление значительных механических изменений требуются незначительные энергозатраты. Этот режим особенно важен и при рассмотрении почвенных процессов ввиду большого разнообразия амплитудно-частотных характеристик воздействующих на почву колебаний, а также такого же многообразия вибрационных характеристик, элементов почвенных структур.

При колебаниях, возникающих в системе дерева, вынуждающей силой является ветер, его скоростной напор, переменный по величине во времени и направлениях. Непостоянство этих параметров обусловлено возникновением колебательных явлений, возникающих в самой массе перемещающегося в виде ветра воздуха, что, в свою очередь, обусловливается особенностями ландшафта местности, локальными сопротивлениями ветропотоку отдельных ландшафтных объектов, например тех же деревьев и их групп, особенностями крон и т. п. При обтекании ветропотоком препятствий с их тыльной стороны образуются завихрения, застойные зоны, вызывающие перепады давлений, являющихся причинами изменений ветропотоков по направлениям и скорости, а значит, и напора. Всё это создаёт сложную картину изменения возбуждающих сил, действующих на все составные элементы наземной части системы дерева, имеющих свои собственные механические характеристики, в результате чего они приходят в колебательное движение с собственными частотами. Наиболее наглядным примером колебаний с собственной частотой могут служить листья осины, приходящей в колебания при малейших величинах возбуждающей силы – ветра. В виду обширности диапазона изменения возбуждающей силы – ветра и не менее обширного диапазона изменения собственных частот колебаний составных элементов механической системы дерева спектр всех частот колебаний, возникающих в системе, весьма обширен. Принимая за нижний порог спектра колебания, возникающие при сильных порывах ветра, когда гнутся стволы деревьев с последующим выпрямлением (что длится несколько секунд), можно считать, что эта частота составляет десятые доли герца. Частоты возникающих колебаний в других составляющих элементах системы составляют десятки, сотни и более герц.

Наземная часть древесной системы в целом тесно связана с корневой системой, представляя собой единое целое, единую механическую систему. Следовательно, корневая система находится под воздействием этих колебаний. Наиболее наглядным и очевидным является малочастотное воздействие, когда раскачиваются стволы деревьев, что сопровождается такой же раскачкой корневой системы. Кроме того, колебания, возникающие в малых элементах древесной механической системы, распространяются по более крупным элементам во всей системе.

Корневая система является не менее сложной, чем наземная часть, механической системой, все её составные элементы также являются упругими системами, имеющими собственные частоты колебаний; для них колебания, распространяемые из наземной части системы, выполняют роль возбуждающих. При этом они носят упорядоченный характер, имея определённые частотные характеристики. Вследствие этого в подземной части обязательно найдутся элементы системы, обладающие такими же частотными характеристиками, что и в надземной части, что создаёт условия для возникновения резонанса.

*В итоге вся подземная часть механической системы оказывается под воздействием спектра колебаний, возникших в надземной части под воздействием ветра и, таким образом, вся система дерева оказывается охваченной колебаниями. Результатом этого является колебательное воздействие всей механической системы дерева в целом на почву, под воздействием которого в ней происходит ряд явлений, изменяющих её состояние.*

Механизм перемещения почвенных частиц под действием вибрации заключается в уменьшении или снятии силового взаимодействия между частицами. Дисперсная среда представляет собой пористую структуру, содержащую частицы – блоки струк-

туры и свободные пространства между ними – поры, заполненные в сыпучей среде воздухом, применительно к почвам - воздухом, влагой или её парами. При колебании блоков структуры происходит изменение расстояний между блоками, формы и объёма пор, причём увеличение пор с одной стороны блоков вызывает их уменьшение с противоположной, что сопровождается изменением давления в порах – гидравлического или аэродинамического, в зависимости от заполняющей поры среды, в сторону их повышения или понижения (Вибрации .., 1981). В результате на размещённые в порах более мелкие блоки при уменьшении объёма и возрастании давления будут действовать силы, направленные в сторону увеличивающихся по размерам пор с пониженным давлением. При кратковременном воздействии этих сил, что имеет место при вибрационном воздействии, блок, находящийся в поре, уподобляется поршню в цилиндре с действующим усилием, направленным вверх или вниз, в зависимости от конкретных сложившихся условий. При направлении возникшего усилия вверх, превышающего вес блока, оно вытолкнет блок в этом направлении, в сторону поры с пониженным давлением. Одновременно реакция от возникшего усилия будет действовать на тяжёлый блок в противоположном направлении, то есть вниз, которая в сочетании с собственным весом блока будет проталкивать его вниз.

*Таким образом, транспортировка определённых элементов в дисперсной структуре при вибрационном воздействии обусловлена не только силами тяжести, но и гидродинамическими или аэродинамическими эффектами, возникающими в порах.* В наибольшей мере они проявляются в порах, заполненных влагой ввиду несжимаемости жидкости. Это полностью подтверждается почвоведческой практикой – явление лессиважа особенно отчётливо проявляется в условиях повышенного увлажнения почв с режимом «промывания». Кроме того, при наличии влаги в порах, если даже она не заполняет полностью объём поры, она исполняет роль смазки, уменьшающей силы трения, а также уменьшающей силы взаимодействия между блоками в связи с уменьшением вязкости среды, окружающей блоки в виде оболочек. Транспортировка же частиц в дисперсной среде, характерная для явления лессиважа, может быть объяснена не только транспортировкой в потоке жидкости, но и явлениями, связанными с вибрацией.

Из практики известно, что миграция почвенных частиц возможна и под действием других факторов, из которых наибольшее значение имеет явление, именуемое обобщённым понятием «вымывание». Строго говоря, отталкиваясь от общих понятий, принятых в науке и технике, под вымыванием следует понимать непрерывную транспортировку определённых частиц водным потоком: прекратился водный поток – прекратилась транспортировка. Режим вымывания в почвоведении рассматривается в общем виде как вынос (перенос) частиц с потоками воды. Детальное рассмотрение происходящих при этом явлений необходимо производить, исходя из гидродинамических законов, которые устанавливают возможность такого перемещения лишь при определённых условиях. Таким условием является бесконечно долгое пребывание в жидкой среде (фазе) частиц, именуемое термином «витание». Витание обусловливается малыми размерами и массой частиц, при которых начинают проявляться броуновские силы, то есть воздействия молекул, суммарным эффектом которых является длительное пребывание частицы в жидкой фазе во взвешенном состоянии. В этом случае частицы могут транспортироваться с потоками на дальние расстояния, но при этом, однако, существуют определённые ограничения, заключающиеся в возможности оседания частиц на стенках каналов под воздействием сил различной природы.

В почвах и грунтах чаще всего имеет место прерывистый режим транспортировки, когда частицы периодически перемещаются на некоторое расстояние с более интенсивными потоками воды. Для осуществления этого режима в случае нерастворимой частицы необходимо выполнение следующих условий. При этом частица должна сдвинуться с места и попасть в поток, имеющий достаточную скорость, обеспечивающую пребывание её в потоке. Для начала движения в канале находящейся в покое частице необходимо сообщить импульс, способный преодолеть инертное сопротивление её массы (по закону Ньютона) и сопротивление её силового взаимодействии с окружающей её средой стенок канала. Требуемый для отрывания частицы

импульс может быть сообщён гидропотоком с достаточно высокой скоростью, создающей гидродинамический напор, способный преодолеть оба вида сопротивлений. После отделения частица может транспортироваться в потоке при меньшем гидравлическом напоре, то есть при меньшей скорости гидропотока.

Наличие в вертикально ориентированных каналах почвенных структур гидропотоков или, как минимум, влаги обеспечивает ускоренное перемещение частиц вниз. В горизонтальных каналах сила тяжести, действующая на частицу, создает силы трения, препятствующие перемещению частиц. Наличие влаги в каналах частично уменьшает силы трения, не снимая их полностью. В этих условиях определяющим фактором транспортировки частиц остаётся лишь достаточно высокая скорость гидропотоков, способная преодолеть все силы сопротивлений, что встречается не всегда. По указанным причинам в горизонтальных и слабонаклонных направлениях транспорт частиц ограничен.

Однако характер вибрационного воздействия на почвенные структуры не ограничивается ранее описанными явлениями, роль которых сводится к транспорту частиц (структурных блоков) в поровом пространстве. Описанные явления имеют место при умеренном вибрационном фоне, под воздействием которого происходит незначительная подвижка наиболее крупных структурных блоков без их разрушения. Блоки структур по всем уровням дискретности связаны между собой силовыми взаимодействиями. Эти взаимодействия убывают от низшего уровня к высшему, состоящему из наиболее крупных элементов. При этом вибрационное воздействие имеет место лишь на наиболее крупные блоки (агрегаты) почвенной структуры. Но вибрация воздействует на блоки всех уровней дискретности почвенных структур в соответствии с моделью, рассматриваемой в работах В. Е. Кузнецова и др. (2005а, 2005б). Все они находятся под воздействием естественного широкополосного по спектру частот вибрационного фона, подчиняясь законам колебательного движения, среди которых особое место занимает резонансный режим. Блоки низших уровней дискретности связаны между собой более прочными связями, соответственно для их разрушения или частичной перестройки их структуры нужен более высокий энергетический уровень вибрационного фона. При умеренном уровне вибрационного фона его энергии хватает лишь на частичную подвижку наиболее крупных блоков, связанных между собой малыми по величине связями. Наличие подвижности блоков, полученной в результате их колебаний, в этих условиях заставит их поворачиваться и под действием силы тяжести принимать положения, соответствующие более плотной упаковке, уменьшая при этом пространство пор. В результате их существенных изменений в строении более прочно связанных структурных блоков низших уровней дискретности не происходит. Низкоуровневая перестройка может произойти при более высокой энергии вибрационного воздействия.

Здесь, однако, следует отметить, что разрушающим фактором может выступать не только высокий энергетический уровень воздействия, но также и временной фактор. Разрушение структуры блоков может осуществиться и при длительных во времени более низких энергетических уровнях вибрации. В этих случаях происходит постепенное, поэтапное разрушение отдельных элементов комплекса связей, обеспечивающих монолитность рассматриваемого структурного блока. Так как каждая связь отличается своими индивидуальными особенностями (Кузнецов и др., 2005а, 2005б), следовательно, в упомянутом комплексе связей всегда найдутся связи, имеющие соответствующие характеристики, в том числе вибрационные, при которых данный вибрационный фон, имеющий также свои характеристики, способен вызвать их разрушение. Ввиду изменчивости характеристик фона на следующих этапах может произойти разрушение других связей с иными характеристиками. Здесь необходимо также отметить о наличии регенерационной способности у связей, то есть возможности их самовосстановления, которое может происходить в определённых условиях. Иначе говоря, процессы разрушения блочных структур носят неоднозначный характер, сочетаясь с обратными процессами их восстановления, воссоздания, то есть являются динамичными и их направленность определяется сочетанием конкретных условий.

В соответствии с моделью структур (Кузнецов и др., 2005а, 2005б) моноблоки предпоследнего уровня дискретности, в свою очередь, состоят из моноблоков ещё более мелкого уровня дискретности. Эти блоки образованы ещё более мелкими структурными элементами посредством комплексов связей, обладающих ещё более высокими прочностными характеристиками. На разрушение этих блоков требуется ещё более высокий уровень энергозатрат. Такая полиблочная дискретная многоуровневая по степени дисперсности структура выстраивается до первичных элементарных образований. В качестве последних в структурах почв присутствуют коллоидные почвенные образования, где в качестве связей выступают силы электростатической природы. Эти элементарные почвенные образования играют определяющую роль в построении моноблоков последующих уровней дискретности. Вследствие этого межблочные связи по всем уровням дискретности обусловлены в той или иной мере электрической природой.

Из рассмотренных теоретических предпосылок видно, что миграция почвенных частиц происходит под воздействием комбинации большого количества факторов различной природы, что связано со сложностью организации почвы как многофазной и многокомпонентной среды.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе «Об участии живого вещества в создании почв» В. И. Вернадский (1919) указывает, что «живое вещество обусловливает мелкоземистость почвы, оно изменяет ее структуру… дробление твердой материи, превращая ее в пыль, песок, мелкозем происходит на поверхности земли следующими процессами: истиранием частиц силою газа, ветра; истиранием и отрыванием частиц с помощью воды; истиранием и отрыванием частицу с помощью твердых масс…». И далее: «…во всех этих случаях сила, производящая истирание и дробление, сводится к движению и всегда есть предел, обусловленный поверхностным натяжением, дальше которого уменьшение размеров пылинки не происходит».

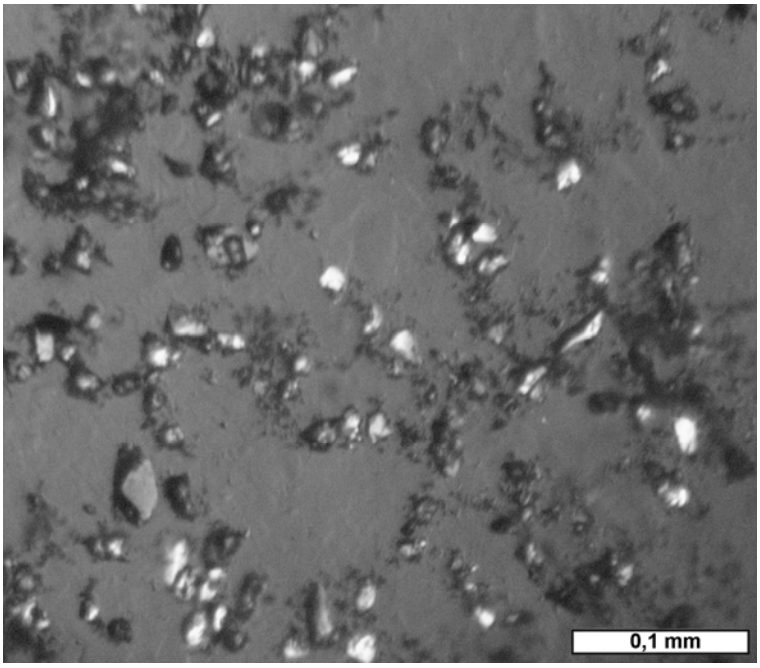


Рис. 1

Передвижение мелкозема можно наблюдать с помощью светового и электронного микроскопов непосредственно в почвенных шлифах. Многие частицы, расположенные в поровом пространстве (рис. 1–3), светятся в поляризованном свете при

скрещенных николях, что отражает их минеральную основу. Визуально большинство частиц имеет близкие линейные размеры (0,01–0,03 мм), что может свидетельствовать о наличии определенного ограничивающего фактора. Поры вышележащих почвенных слоев являются своего рода резонансными «ситами», которые способствуют движению одних частиц и ограничивают перемещение других под действием вибрационных явлений. В то же время рядом с минералами и между ними наблюдается темная гумусовая плазма, которая, судя по всему, является клеящим материалом при образовании микроагрегатов.

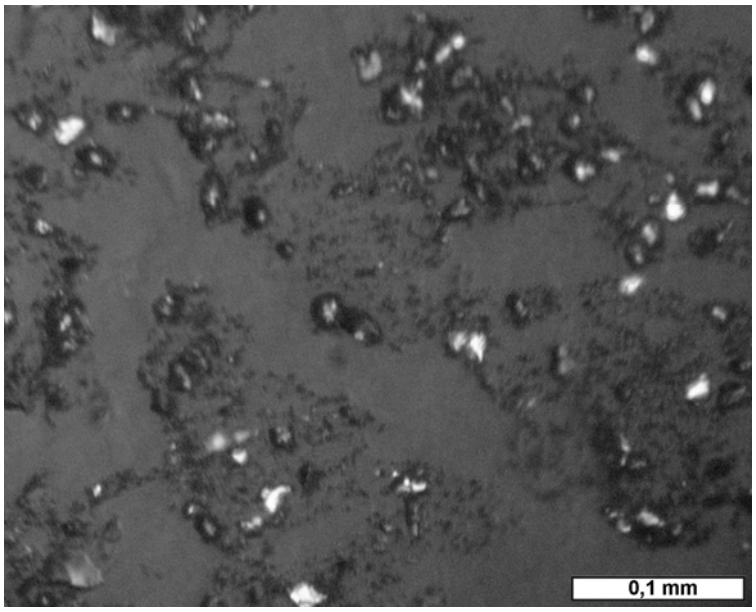


Рис. 2

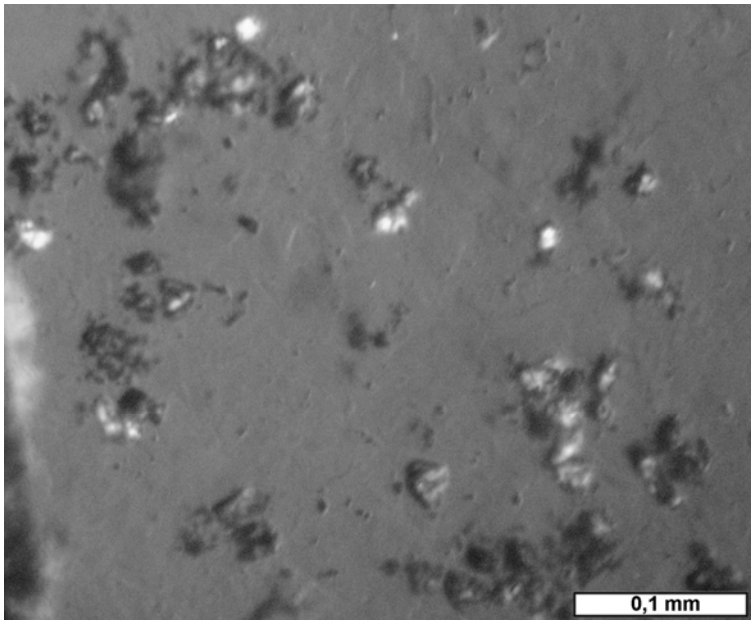


Рис. 3

При уменьшении масштаба изображения микроагрегаты смотрятся в виде светящихся точек на темном фоне поры (рис. 4) в поляризованном свете и темных точек

на светлом фоне (рис. 5) при обычном освещении. Данное увеличение позволяет оценить равномерность распределения частиц в поровом пространстве. На представленных фотографиях видно присутствие большого количества частиц во всех крупных порах. Таким образом, рассматриваемое явление носит массовый характер.

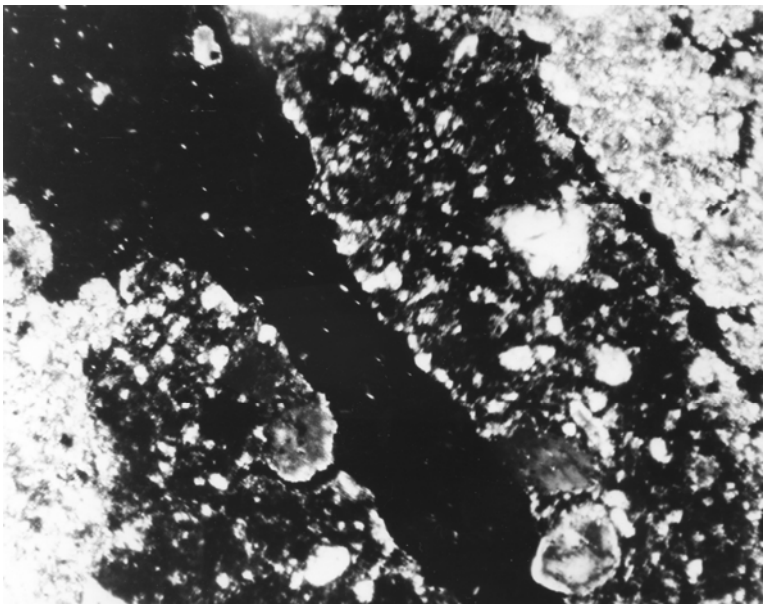

Рис. 4

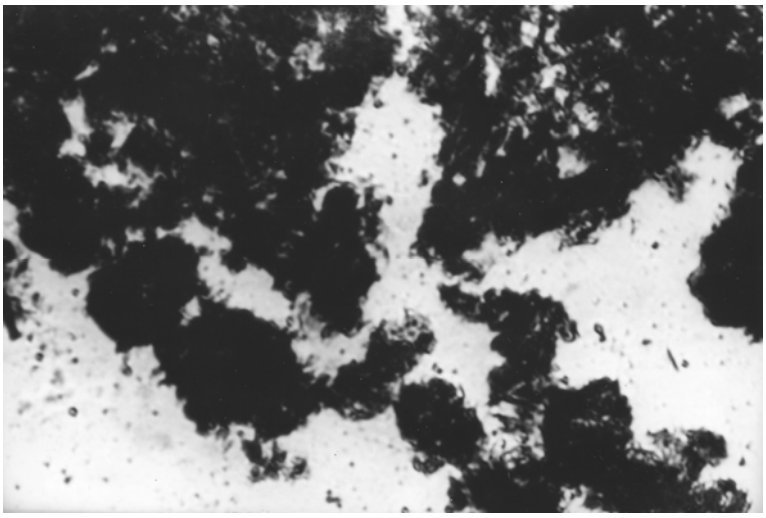

Рис. 5

Развитие исходных минеральных частиц, совершающих колебательные движения в поровом пространстве, возможно в двух направлениях: сразу присоединиться к почвенному скелету под действием клеящих органических веществ, крупному агрегату или стать зародышем нового агрегата, который со временем может увеличиться в размерах и войти в состав скелета. Оба пути способствуют формированию почвенных агрегатов разных порядков (Розанов, 1975). То, как себя поведет та или иная частица, зависит как от большого количества детерминированных факторов, так и от стохастической составляющей, их комбинация определяет, какой путь энергетически выгоднее в текущий момент времени.

Растровая электронная микроскопия, как метод изучения структуры поверхности, подтверждает изложенные рассуждения. На представленной поверхности почвенного агрегата (рис. 6) отчетливо видны приклеившиеся частицы или микроагрегаты, прошедшие, вероятно, по первому пути развития. В любом случае оба пути способствуют увеличению агрегированности почвенного материала. В связи с этим можно напомнить мнение В. И. Вернадского, который подчеркивал, что предел дробления меняется в зависимости от физических и химических свойств данного тела, но никогда в природе не достигает этим путем того размера, который создается живой материей (1919).

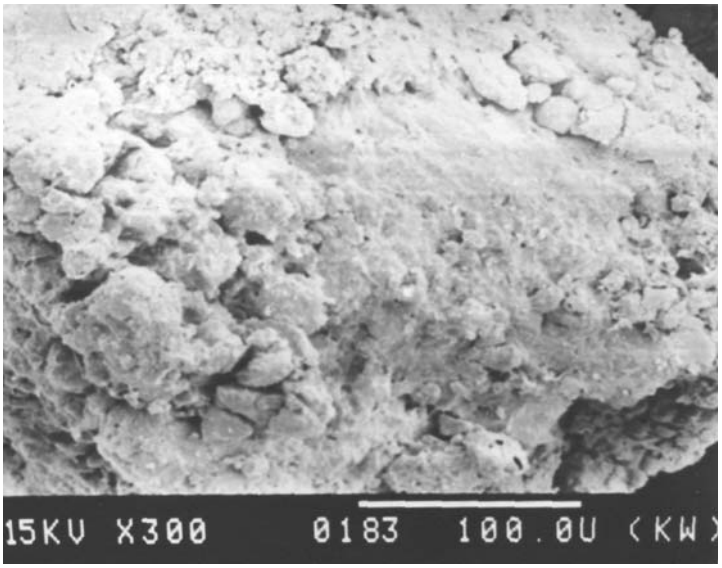


Рис. 6

Мельчайшие частицы, которые непосредственно находятся в поровом пространстве микрошлифа иллювиального почвенного горизонта и которые в конечном счете формируют поры этого горизонта, можно считать прямым следствием механического перемещения этих частиц из вышерасположенных элювиальных горизонтов. По количеству и морфологии этих частиц можно судить об их активности и особенностях перемещения под действием вибрационных процессов.

Используя методы цифровой обработки изображений, математической морфологии и вычислительной геометрии (Serra, 1982; Prett, 2001; Gonzalez, Woods 2002), произведем оценку интересующих нас параметров почвенных частиц по опубликованной ранее методике (Балалаев, 2002).

Для этого необходимо осуществить ряд последовательных действий по алгоритму, описанному ниже.

Произвести сегментацию растрового изображения почвенного шлифа методом локальной оптимизации адаптивного порога яркости для определения точек, принадлежащих поровому пространству.

Найти связанные области пикселей объектов (пор) и сохранить только те из них, которые имеют одну или более дыр, и те, чья площадь превышает заданную величину. Эта процедура необходима для того, чтобы исключить из анализа объекты, соответствующие прозрачным минералам, которые могут вносить существенные искажения в конечный результат.

Путем применения ряда морфологических операций выделить дыры на порах и пропустить те, площадь которых превышает наперед заданную величину. Указанное ограничение необходимо, так как в почвенных шлифах часто встречаются крупные

разветвленные поры с островами, которые не могут быть отнесены к интересующим нас частицам. Оставшиеся объекты и есть искомые почвенные частицы.

Вычислить геометрические характеристики каждого объекта (частицы) и их статистику.

Общий объем выборки обнаруженных объектов, для трех шлифов, изготовленных из образцов, отобранных в разных местах и в разные годы, но с одного генетического иллювиального горизонта $Hp_{il}$ (30-50 см.) чернозема лесного на лессовидных суглинках в байрачном лесу, был ограничен 6 тысячами.

Основные статистические характеристики эмпирической выборки геометрических показателей приведены в табл. 1. Необходимо обратить внимание, что во многих геометрических показателях частота основной моды равна одному и тому же значению – 2370. Это отражает присутствие большого числа одинаковых частиц (39,5 % от общего количества). По показателям площади, длине и характеристикам формы можно сделать вывод, что эти частицы соответствуют точке на изображении почвенного шлифа. То есть объектам, размеры которых равны пределу разрешающей способности применяемого метода сканирования шлифа. Эти объекты вносят значительные коррективы в статистику всей выборки.

Из обнаруженного факта вытекает важный логический вывод. Можно предположить, что количество почвенных частиц в поровом пространстве с линейными размерами менее 0,01 мм резко возрастает, поскольку гистограмма распределения размеров, в частности длины, носит явно асимметричный лог-нормальный характер (рис. 7). Кроме того, исходя из фотографий, приведенных выше, рассматриваемые частицы представляют собой кластеры, образованные вследствие объединения более мелких частиц. Соответственно для построения кластеров необходимо в несколько раз больше строительного материала.

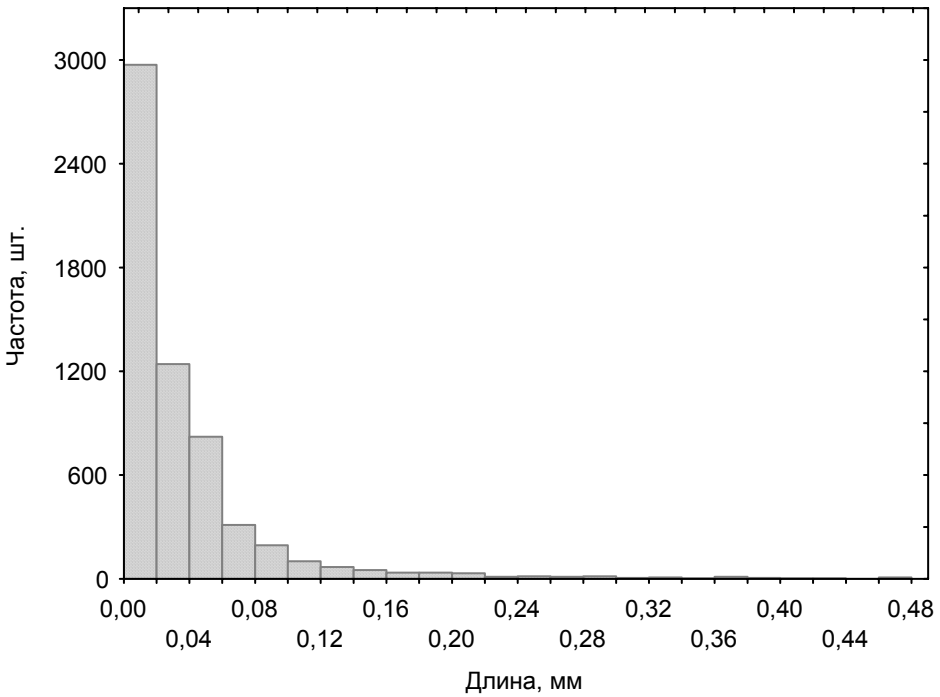


Рис. 7. **Гистограмма распределения длины лессивированных частиц**

*Таблица 1*

**Дескриптивная статистика основных геометрических признаков всех почвенных частиц, расположенных в поровом пространстве шлифа**

| Показатель | Среднее значение | Стандартное отклонение | Медиана | Мода | Частота моды | Минимум | Максимум | Асимметрия | Эксцесс |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Площадь, мм$^2$ | 0,0016 | 0,0064 | 1,9E-4 | 6,3E-5 | 2370 | 6,3E-5 | 0,095 | 9,538 | 110,4 |
| Периметр, мм | 0,1055 | 0,1668 | 0,0496 | 0,022 | 2370 | 0,022 | 1,895 | 5,005 | 34,28 |
| Момент инерции, мм$^2$ | 0,1433 | 1,3948 | 8,0E-5 | 0 | 2370 | 0 | 27,76 | 14,72 | 240,2 |
| Длина, мм | 0,0384 | 0,0522 | 0,0205 | 0,009 | 2370 | 0,009 | 0,480 | 3,912 | 20,26 |
| Ширина, мм | 0,0242 | 0,0301 | 0,0092 | 0,009 | 3003 | 0,009 | 0,358 | 4,996 | 35,63 |
| Изометричность | 0,7109 | 0,2653 | 0,7071 | 1 | 2430 | 0,117 | 1 | -0,127 | -1,503 |
| Округлость | 1,1284 | 0,3850 | 1,0077 | 1,571 | 2370 | 0,148 | 1,571 | -3,7E-4 | -1,432 |
| Фактор формы | 0,9197 | 0,3159 | 0,7890 | 1,571 | 2370 | 0,218 | 1,285 | 0,047 | -1,505 |
| Расчлененность | 0,9925 | 0,2014 | 0,9976 | 0,799 | 2370 | 0,799 | 2,604 | 1,383 | 4,333 |
| Ориентация, градус | 35,86 | 49,37 | 0 | 0 | 2832 | -45,00 | 135,0 | 0,474 | -1,249 |
| Эквивалент. диаметр, мм | 0,0285 | 0,0353 | 0,0155 | 0,009 | 2370 | 0,009 | 0,346 | 4,125 | 24,23 |
| Заполнение | 0,8513 | 0,1748 | 1 | 1 | 3120 | 0,289 | 1 | -0,700 | -0,785 |
| Эксцентриситет | 0,4528 | 0,3901 | 0,6324 | 0 | 2433 | 0 | 0,987 | -0,189 | -1,792 |
| Выпуклость | 0,9261 | 0,1000 | 1 | 1 | 3438 | 0,499 | 1 | -1,114 | 0,203 |

Поскольку наиболее вероятные частицы представляют собой тривиальный вариант – точку, все характеристики которой заранее предопределены, исключим эту категорию из дальнейшего рассмотрения. Статистические показатели оставшихся объектов (табл. 2) более информативны относительно их формы и ориентации. Значительно снизился эксцесс и асимметрия распределений площади, периметра, момента инерции, длины и ширины. То есть их распределения приближаются к нормальному. Так как стало меньше симметричных объектов, то изменились средние значения показателей изометричности в сторону роста вытянутости. Показатели, характеризующие форму объекта, отражают усложнение формы частиц.

Представляет интерес трансформация показателя ориентации. Наиболее вероятное значение ориентации в первом случае (табл. 1) равно 0 градусов, что связано с особенностью применяемого алгоритма вычисления, где симметричным объектам присваивается значение 0. Во втором случае (табл. 2) мода ориентации изменяется на 90 градусов.

Если исходить из того, что расположенные в поровом пространстве изометричные частицы находятся в водно-воздушном потоке, то наиболее энергетически выгодное положение – ориентация вдоль потока. В то же время согласно принятым представлениям перемещения почвенных растворов в крупных порах имеют главным образом вертикальное направление под воздействием гравитационных сил.

На гистограмме (рис. 8) хорошо видно, что большая часть вытянутых частиц ориентирована или строго вертикально, или с небольшим отклонением от вертикали. В то же время анализ показал, что присутствует группа частиц несколько меньшей численности, ориентированных строго горизонтально. Эти объекты имеют вид двух точек на изображении почвенного шлифа, т. е. их размер в два раза превышает разрешающую способность.

*Таблица 2*

**Дескриптивная статистика основных геометрических признаков почвенных частиц, занимающих площадь более одной точки изображения шлифа**

| Показатель | Среднее значение | Стандартное отклонение | Медиана | Мода | Частота моды | Минимум | Максимум | Асимметрия | Эксцесс |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Площадь, мм$^2$ | 0,0027 | 0,0081 | 7,0E-4 | 1,3E-4 | 555 | 1,3E-4 | 0,095 | 7,498 | 67,40 |
| Периметр, мм | 0,1601 | 0,1964 | 0,104 | 0,038 | 555 | 0,038 | 1,895 | 4,274 | 23,90 |
| Момент инерции, мм$^2$ | 0,2376 | 1,7896 | 0,001 | 3,0E-5 | 555 | 3,0E-5 | 27,76 | 11,40 | 143,6 |
| Длина, мм | 0,0576 | 0,0599 | 0,039 | 0,018 | 603 | 0,018 | 0,480 | 3,376 | 14,28 |
| Ширина, мм | 0,0341 | 0,0355 | 0,025 | 0,009 | 633 | 0,009 | 0,358 | 4,272 | 25,14 |
| Изометричность | 0,5209 | 0,1600 | 0,5 | 0,5 | 924 | 0,117 | 1 | 0,404 | 0,225 |
| Округлость | 0,8377 | 0,1801 | 0,853 | 1,078 | 603 | 0,148 | 1,078 | -0,704 | 0,376 |
| Фактор формы | 0,6793 | 0,1401 | 0,700 | 0,789 | 555 | 0,218 | 0,988 | -0,604 | 0,042 |
| Расчлененность | 1,1197 | 0,1625 | 1,084 | 0,964 | 603 | 0,964 | 2,604 | 2,646 | 12,03 |
| Ориентация, градус | 59,43 | 51,36 | 80,43 | 90 | 546 | -45 | 135 | -0,553 | -0,972 |
| Эквивалент. диаметр, мм | 0,0414 | 0,0407 | 0,030 | 0,013 | 555 | 0,013 | 0,346 | 3,583 | 17,60 |
| Заполнение | 0,7535 | 0,1629 | 0,745 | 1 | 750 | 0,289 | 1 | 0,082 | -0,682 |
| Эксцентриситет | 0,7504 | 0,1697 | 0,774 | 0,866 | 606 | 0 | 0,987 | -1,963 | 5,477 |
| Выпуклость | 0,8775 | 0,1031 | 0,880 | 1 | 1068 | 0,499 | 1 | -0,410 | -0,625 |

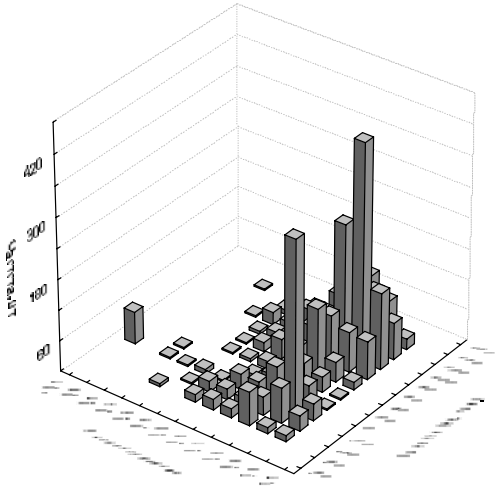


Рис. 8. **Двумерная гистограмма распределения эксцентриситета и ориентации лессивированных частиц**

Сказанное подтверждает гистограмма коэффициента заполнения (рис. 9), на которой выделяются два столбика, соответствующие горизонтально и вертикально ориентированным двухточечным объектам. Однако другие, более крупные, частицы в большинстве случаев тяготеют к вертикальному расположению. Наличие частиц с малым углом наклона можно объяснить: во-первых, вероятностным характером процесса ориентации частиц, во-вторых – не все крупные поры и их ответвления ориентированы вертикально.

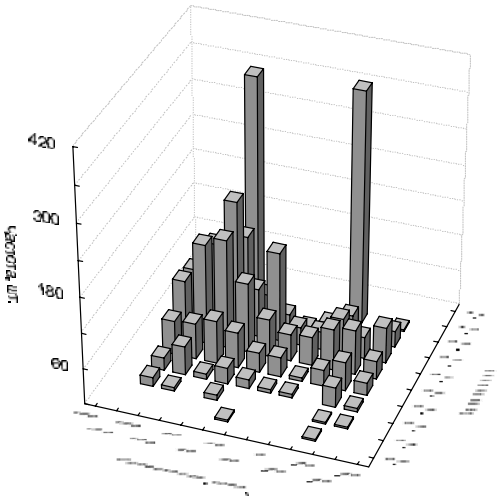


Рис. 9. **Двумерная гистограмма распределения коэффициента заполнения и ориентации лессивированных частиц**

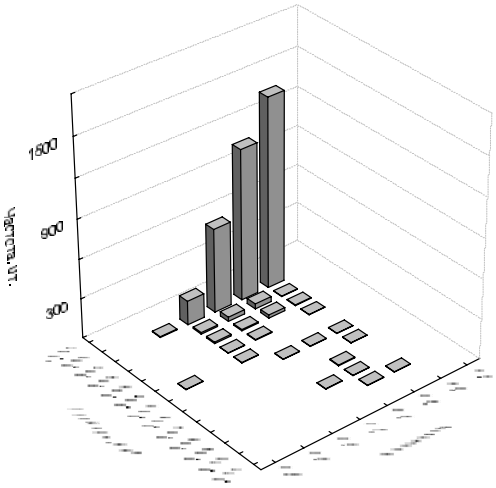


Рис. 10. **Двумерная гистограмма распределения коэффициента заполнения и ориентации лессивированных частиц**

Необходимо обратить внимание на зависимости формы и размера (рис. 10). Для частиц минимальной площади наиболее вероятна простая форма контура с малым количеством впадин и возвышенностей на их поверхности. С ростом площади число

объектов резко сокращается, но тенденция простоты формы остается. Упрощенная форма частиц является прямым следствием миграции и вибрационных колебаний. Уменьшение числа крупных агрегатов можно считать закономерным явлением, так как вероятность возникновения микроагрегатов значительно выше возможности роста крупных образований.

В заключение может возникнуть вопрос, действительно ли найденные программой объекты являются лессивированными почвенными частицами из верхних горизонтов? Однозначно ответить на него, основываясь только на представленном экспериментальном материале, невозможно. Для этого необходимо проведение целенаправленных экспериментов, например «методом меченых атомов», чтобы непосредственно отследить направления, скорость и масштабы лессиважа.

Но на основе полученных данных можно косвенно судить о механической активности почвы. Во-первых, наличие частиц определенного размера в поровом пространстве говорит о том, что они прочно не связаны с почвенным скелетом, следовательно, они могут свободно перемещаться в любых направлениях, в том числе и вертикально по профилю под воздействием вышеизложенных сил различной природы. Во-вторых, рассматриваемые частицы практически не встречаются в мелких порах по всему почвенному профилю, а в крупных порах верхних горизонтов их значительно меньше. Этот факт является весомым аргументом в пользу теории миграции частиц вниз по профилю. В-третьих, показатели размера, формы и угла наклона исследуемых объектов соответствуют современным представлениям о процессах транспорта почвенных частиц и являются теоретически обоснованными.

## ВЫВОДЫ

Явление лессиважа в почвах является многогранным по своей сути, так как при этом на разном уровне организации почвенных структур участвуют силы различной природы.

Подверженная вибрации корневая система дерева воздействует на почву. Почвенные агрегаты того или иного уровня дискретности, являясь объектами колебаний, также приходят в колебательное движение со своей собственной частотой колебаний.

Основными факторами транспортировки частиц в почвах являются вибрационное воздействие и процессы перемещения влаги в почвенных структурах. На практике чаще всего оба фактора действуют одновременно, что ускоряет процесс перемещения.

Наиболее интенсивно идет перемещение в вертикальном направлении по сравнению с горизонтальным. Определяющим фактором в этом случае является сила тяжести, направление которой совпадает с направлением перемещения.

Непосредственное отслеживание процесса лессиважа представляет определенные трудности, однако возможно изучение последствий механического перемещения частиц микроморфологическим методом.

Проведенная микроморфометрическая оценка последствий лессиважа – частиц, расположенных в поровом пространстве почвенного шлифа, показала соответствие геометрических показателей лессивированных частиц и их количества теоретическим представлениям о возможных механизмах движения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**Асмус В. Ф.** Иммануил Кант. – М.: Наука, 1973. – 533 с.

**Балалаев А. К.** Опыт применения компьютерных технологий в морфометрических исследованиях почвенных микрошлифов //

**Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлеев. – Д.: ДГУ, 1999. – 345 с.

**Бельгард А. Л.** К типологии лесных сообществ Гербовецкого леса // Гербовецкий лес: Сб. работ по лесному хазяйству Молдавии. – Кишинев, 1970. – Вып. 4. – С. 39-49.

**Богданов Г. Б.** Нелинейная нейро-, электро-, термодинамика и экоуравновешивание. – К., 1991. – 407 с.

**Боговін А. В.** Лукопасовищні угіддя як фактор оптимізації структурно-функціональної організації агроландшафтів та виробництва дешевих кормів / А. В. Боговін, Н. Д. Мартиненко, В. Я. Риковський, С. В. Пустовойтенко // Землеробство. – 1966. – Вип. 71. – С. 65-71.

**Вербин А. А.** Засуха и борьба с ней в степи Украины. – Одесса: Одес. обл. изд-во, 1948. – 162 с.

**Вернадский В. И.** Об участии живого вещества в создании почв // Сытник К. М. В. И. Вернадский. Жизнь и деятельность на Украине / К. М. Сытник, Е. М. Апанович, С. М. Стойко.. – К.: Наук. думка, 1988. – 365 с.

**Вибрации в технике:** Справочник: В 6 т. // Под общ. ред. В. Н. Челомея. – Том 4 // Под ред. Э. Э. Левендела. – С. 78-80. – М.: Машиностроение, 1981.

**Вилучення** з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їхнє раціональне використання (методичні рекомендації) / За ред. В. Ф. Сайко.

**Вильямс В. Р.** В. В. Докукчаев в борьбе с засухой / В. Р. Вильямс, З. С. Филиппович // В.В. Докучаев «Наши степи прежде и теперь». – М.; Л., 1936. – С. 5-8.

**Герасимов И. П.** Основы почвоведения и географии почв / И. П. Герасимов, М. А. Глазовская. – М.: Географгиз, 1960.

**Герцык В. В.** Изменения лесостепного природного комплекса от леса к степи через опушку // Тр. ЦЧГЗ им. проф. В. В. Алехина. – Воронеж, 1985. – С. 291-321.

**Димо Н. А.** Почвы Молдавии, задачи их изучения и главнейшие особенности. – Кишинев, 1958. – С. 24-25.

**Докучаев В. В.** Наши степи прежде и теперь // Избр.соч. – Т. 2. – С. 163-224.

**Дубина А. А.** Материалы к характеристике лесной подстилки Гербовецкого лесного массива в Молдавии // Гербовецкий лес: Сб. работ по лесному хазяйству Молдавии. – Кишинев, 1970. – Вып.4. – С. 157-161.

**Дюшофур Ф.** Основы почвоведения: Пер. с франц. – М.: Прогресс, 1970.

**Зонн С. В.** Высокогорные лесные почвы восточного Тибета. – М.: Наука, 1964. – 235 с.

**Зонн С. В.** Географо-генетические аспекты почвообразования, эволюции и охраны почв / С. В. Зонн, А. П. Травлеев. – К.: Наук. думка, 1989. – 215 с.

**Зонн С. В.** Состояние и задачи исследований по лесному почвоведению // Почвоведение. – 1953. – № 1. – С. 4-16.

**Карпачевский Л. О.** Экологическое почвоведение. – М.: МГУ, 1993. – 185 с.; М.: ГЕОС, 2005. – 335 с.

**Карпачевский Л. О.** Проблемы экологического почвоведения // Екологія та ноосферологія. – 1995. – Т. 1, № 1-2. – С. 48-56.

**Коржинский С. И.** Предварительный отчет о почвенных и геоботанических исследованиях // Тр. О-ва естествоиспытателей. при Казан. ун-те. – 1887. – Т. 16, вып. 6.

**Крупеников И. А.** Черноземы Молдавии. – Кишинев, 1967. – 427 с.

**Кузнецов В. Е.** Анализ влияния вибрационного воздействия одного или нескольких уровней на технологические и эксплуатационные свойства материалов / В. Е. Кузнецов, Е. В. Кузнецов, П. К. Бондаренко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2005б. – № 3.

**Кузнецов В. Е.** Модель структуры материалов при вибрационном воздействии / В. Е. Кузнецов, Е. В. Кузнецов, П. К. Бондаренко // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2005а. – № 2. – С. 61-64.

**Ломоносов М. В.** Избранные произведения. – М.: Наука, 1986. – Т. 1. – 535 с.

**Ломоносов М. В.** Избранные произведения. – М., 1986. – Т. 1. – С. 360-363.

**Нецветов М. В.** Вертикальное перемещение микрочастиц в почве под действием сверхнизких частот // Ґрунтознавство. – 2003. – Т. 4, № 1-2. – С. 62-66.

**Нецветов М. В.** Нанотехнологии в моделировании лессиважа / М. В. Нецветов, П. К. Хиженков // Ґрунтознавство. – 2007. – Т. 8, № 1-2. – С. 140.

**Парфенова Е. И.** Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении / Е. И. Парфенова, Е. А. Ярилова. – М.: Наука, 1977. – 200 с.

**Розанов Б. Г.** Генетическая морфология почв. – М.: МГУ, 1975. – 340 с.

**Ромашкевич А. И.** Микроморфология и диагностика почвообразования / А. И. Ромашкевич, М. И. Герасимова. – М.: Наука, 1982. – 127 с.

**Сайко В. Ф.** Проблеми раціонального використання земельного фонду України // Землеробство. – 1966. – Вип. 71. – С. 3-10.

**Сапожников С. А.** Микроклимат и местный климат. – Ленинград, 1950. – 240 с.

**Соколовский А. Н.** Курс сельскохозяйственного почвоведения. – М.; Л., 1934. – 270 с.

**Стадниченко В. Г.** Почвы Велико-Анадольского леса // Велико-Анадольский лес. – Х.: ХГУ, 1955. – С. 53-63.

**Сукачев В. Н.** Основне понятия лесной1 биогеоценологии // Основы лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1964. – С. 5-49.

**Толковый словарь** по почвоведению // Под ред. А. А. Роде. – М., 1972.

**Травлеев А. П.** Характеристика почв Генрбовецкого леса // Гербовецкий лес: Сб. работ по лесному хазяйству Молдавии. – Кишинев, 1970. – Вып. 4. – С. 21-30.

**Тюрин И. В.** К вопросу о генезисе и классификации лесо-степных и «лесных» почв // Уч. зап. Казан. ун-та. – 1930. – Т. 45, кн. 3, 4. – С. 430-465.

**Чернышенко С. В.** Нелинейные методы анализа динамики лесных биогеоценозов. – Д., 2005. – 511 с.

**Шеин Е. В.** Теории и методы физики почв / Е. В. Шеин, Л. О. Карпачевский. – М., 2007. – 615 с.

**Шенников А. П.** О конвергенции среди растительных ассоциаций // Очерки по фитоценологии и фитогеграфии. – М.: Нова деревня, 1929. – С. 102-119.

**Aubert G.** Soils with ferrgineous of ferralitic crusts of tropical regions. – Soils sci., 1963, vol. 95, № 4.

**Gonzalez R. C., Woods R. E.** Digital image processing. Prentice Hall, New Jersey, 2002. 982 p.

**Prett W. K.** Digital image processing, John Wiley & Sons, NY. 2001, 873 p.

**Serra J.** Image Analysis and mathematical Morphology, Academic Press, HY. 1982, 536 p.

*Надійшла до редколегії 07.08.07*