

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

**TUPROQ BIOGEOKIMYOSI – BIOSFERANING BARQAROR
RIVOJLANISHI VA MUHOFAZASI**

xalqaro ilmiy
anjuman materiallari

TO'PLAMI

СБОРНИК

материалов международной
научной конференции

**БИОГЕОХИМИЯ ПОЧВ – УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И
ОХРАНА БИОСФЕРЫ**

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

1-SHO'BA: BIOSFERADAGI TUPROQ BIOGEOKIMYOVIY JARAYONLAR

Г.Юлдашев, М.Т.Исагалиев, А.Т.Турдалиев, У.Б.Мирзаев, И.Н.Мамажонов, С.А.Махрамхужаев, З.М.Азимов	
Гумусное и энергетическое состояние горно-коричневых почв Западной Ферганы	9
Z.A.Jabbarov, T.Abdрахmanov, U.M.Nomozov, K.A.Idirisov, S.Q.Mahammadiyev, O.N.Imomov, B.B.Abdukarimov, Sh.Z.Abdullayev, N.Y.Abdurahmonov, G.T.Djalilova, Sh.M.Xoldorov, S.M.Malgorzata, W.Bogusław, Y.M.Tokhtasinova	
Orol dengizining qurigan tubida tarqalgan tuproq-gruntlarining radiologik xavfsizlik ko'rsatkichlari	16
А.С.Вайнберг, Е.В.Абакумов	
Микропластик в почвах: обзор экологических рисков	20
В.М.Гончаров, Е.В.Шейн	
Гранулометрия как физическая основа биогеохимических процессов	24
G.T.Parpiyev, N.J.Xushvaqto'v, A.X.Shukurov, S.Sh.Hasilbekov, H.I.Ibodullayev, D.H.Hasilbekova	
Kartoshka o'simligini <i>In vitro</i> sharoitida ko'paytirishda ozuqa muhitining tarkibi va tayyorlanish texnologiyasi	30
О.Б.Цветнова, В.М.Гончаров, Ш.Я.Эшпулатов, Г.Х.Утанова	
Влияние лесных насаждений на свойства темно-серых лесных почв	35
Е.И.Походня, Е.В.Абакумов	
Экотоксикологическая оценка почв Юнтоловского заказника	40
G'.Yuldashev, G.T.Sotiboldiyeva, X.A.Abduxakimova, Z.M.Azimov, I.N.Mamajonov, S.A.Maxramxujayev	
Gipergen sharoitda pedogen elementlar biogeokimyosi	44
U.B.Mirzayev, M.Ibroximova, F.Yulbarsova, F.Toyloqova, J.Komilov	
Farg'ona viloyati sug'oriladigan tuproqlarining unumdorligi va uni oshirish muammolari	53
A.T.Turdaliyev, I.I.Musayev, A.A.Ahmadjonov, D.O.Anafiyayeva	
Sug'oriladigan och tusli bo'z tuproqlarda biomikroelementlarning biogeokimyosi	58
Z.M.Azimov, G'.Yuldashev, N.Sh.Yusufjonova	
Madaniy fitomeliyorant o'simliklarning biogeokimyosi	64
V.Y.Isaqov, S.B.Akbarov	
Landshaft ekologik holatni Yozyovon (Markaziy Farg'ona) suv ombori ta'sirida o'zgarishi	67
K.A.Asqarov, A.A.Ahmadjonov, I.I.Musayev, A.A.Xalilov	
Sug'oriladigan tuproqlarda biomikroelementlar geokimyosi	74
I.M.Yusupov	
Tuproq unumdorligini oshirishda anaerob azotofiksator baccillaceae oilasiga kiruvchi <i>Clostridium pasteurianum</i> bakteriyasining tuproqda indikatorligi va ahamiyati	80
Z.J.Isomiddinov, S.M.Isag'aliyeva	
Janubiy Farg'ona cho'l tuproqlari va piyoz (<i>Allium cepa</i> L.) o'simligi biogeokimyosi	84
M.X.Diyorova, Q.M.O'roqov	
Sug'oriladigan och tusli bo'z tuproqlarda karbonatlar miqdori	88
H.T.Artikova, S.S.Shadiyeva	
Buxoro tumani sug'oriladigan tuproqlarining xossa-xususiyatlari tadqiqi	91
M.X.Diyorova, S.N.Holigova, M.F.Mamadiyrov	
G'uzor massivida tarqalgan qo'riq och tusli bo'z tuproqlarning agrokimyoviy xossalari	96
Z.J.Isomiddinov, M.T.Isag'aliyev, G'.Yuldashev	
Tog'li jigarrang tuproqlar va <i>Allium karataviense regel</i> , <i>Fritillaria sewerzowii regel</i> o'simliklari biogeokimyosi	101
M.T.Isag'aliyev, G'.Yuldashev, M.I.Aktamov, B.M.Qo'chqorov	
Sug'oriladigan tuproqlarda suvda oson eruvchi tuzlar geokimyosi	107

2-SHO'BA: TUPROQ UNUMDORLIGI – LANDSHAFTNING BARQAROR RIVOJLANISH OMILI

J.Ismonov, O'.X.Mamajanova, G.N.Kattayeva, A.T.Do'saliyev	
Orol dengizi qurigan tubi tuproq-gruntlarida elementlarning geokimyoviy akkumulyatsiyasi	113



UO'K: 631.435+550.47

ГРАНУЛОМЕТРИЯ КАК ФИЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**GRANULOMETRY AS A PHYSICAL BASIS OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES****GRANULOMETRIYA BIOGEOKIMYOVIIY JARAYONLARNING FIZIK ASOSI****Гончаров Владимир Михайлович¹**¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, д.б.н., профессор,**Шеин Евгений Викторович²** ²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, д.б.н., профессор**Аннотация**

Базовый уровень организации элементарных почвенных частиц определяет фундаментальные свойства и биогеохимические процессы, энерго- и массообмен, поглощение и трансформацию веществ и функционирование почвы в биосфере. Исследования этих свойств и процессов возможны только с учетом дисперсности твердой фазы почвы, т.е. ее гранулометрического состава. В работе представлены основные классификационные понятия почвенной гранулометрии, методы исследования и анализа результатов.

Abstract

The basic level of organization of elementary soil particles determines the fundamental properties and biogeochemical processes, energy and mass exchange, absorption and transformation of substances and functioning of the soil in the biosphere. Studies of these properties and processes are possible only taking into account the dispersion of the solid phase of the soil, i.e. its granulometric composition. The paper presents the main classification concepts of soil granulometry, research methods and analysis of results.

Annotatsiya

Tuproqning elementar zarrachalarini tashkil etishning asosiy darajasi biosferada tuproqning asosiy xossalari va biogeokeymoviy jarayonlarini, energiya va massa almashinuvini, moddalarning singishi va o'zgarishini va uning ishlashini belgilaydi. Ushbu xususiyatlar va jarayonlarni o'rganish faqat tuproqning qattiq fazasining tarqalishini hisobga olgan holda mumkin, ya'ni. uning granulometrik tarkibi. Maqolada tuproq granulometriyasining asosiy tasnifi tushunchalari, tadqiqot usullari va natijalar tahlili keltirilgan.

Ключевые слова: почвенные частицы, твердая фаза почвы, гранулометрический состав, седиментация.

Key words: soil particles, solid phase of the soil, granulometric composition, sedimentation.

Kalit so'zlar: tuproq zarrachalari, tuproq qattiq fazasi, granulometrik tarkib, sedimentatsiya.

ВВЕДЕНИЕ

Биогеохимические процессы в почве во многом определяются базовым уровнем организации почвы – качеством и количественными характеристиками поверхности элементарных почвенных частиц. Именно на этом уровне формируются все фундаментальные свойства и процессы энерго- и массообмена, ее поведение в отношении поглощения и трансформации веществ, т.е. все основные процессы, которые определяют облик, свойства, внутреннюю жизнь почвы и ее функции в биосфере. Такая важная характеристика почвы, как её дисперсность, проявляется в двух взаимосвязанных качествах – в виде большого количества мелких частиц, их свойствах и высокой удельной поверхности. Дисперсность частиц, их соотношение в диапазоне >0.001 и <1 мм, называемое гранулометрическим составом, является одним из основных аргументов при количественном прогнозе почвенных свойств и процессов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для разделения указанной области на отдельные диапазоны (фракции), необходимо было заложить некий принцип классификации частиц по размерам. Одна из первых попыток была сделана шведским исследователем Альбертом Аттербергом в 1912 г., который выделял частицы и анализировал свойства. Оказалось, что при достижении размеров 0.002, 0.05 и 0.2 мм некоторые свойства частиц, в частности липкость, изменяются довольно резко - происходит качественный скачок («benchmark» - «опорная отметка») в свойствах фракций. Эти диапазоны Аттерберга заложены в основе классификации: < 0.002 мм – глина, 0.002–0.05 – пыль, 0.05–0.2 – тонкий песок, 0.2–2 – грубый песок, >2 мм – гравий. Эти фракции и составляют основу большинства современных зарубежных классификаций (рис. 1а).

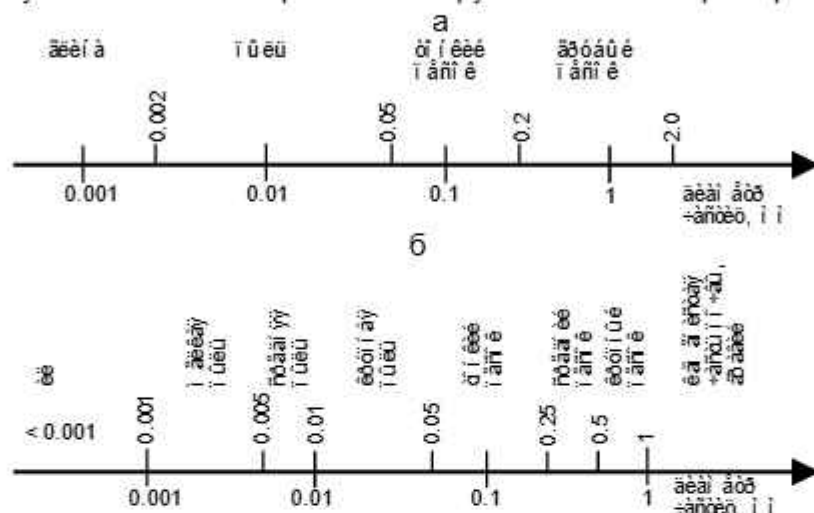


Рис.1. Фракции гранулометрических частиц (а) по А.Аттербергу и (б) по Н.А.Качинскому

В российской классификации, разработанной Н.А.Качинским, границы фракций иные, более подробные: <0.001 – ил, 0.001–0.005 – пыль мелкая, 0.005–0.01 – пыль средняя, 0.01–0.05 – пыль крупная, 0.05–0.25 – песок мелкий, 0.25–0.5 – песок средний, 0.5–1.0 – песок крупный, >1 мм – гравий (рис. 1б). Частицы <0.01 мм объединены в более крупную фракцию физической глины, а частицы >0.01 мм – во фракцию физического песка.

Первое и главное различие классификации А.Аттерберга и Н.А.Качинского это диапазон самых тонких частиц почвы: «глинистые частицы» <0.002 мм и частицы «ила» <0.001 мм. Казалось бы, что разница небольшая, однако очень существенна. Ведь в данном случае мы имеем дело с частицами очень небольших размеров, которые, как правило, и определяют важнейшие свойства и поведение почвы, её липкость, пластичность, емкость катионного обмена и другие. Илистая фракция, как правило, отличается повышенным содержанием органических веществ, а по мере увеличения диаметра растет содержание кварца, но снижается содержание полевых шпатов и слюд. Вторичные минералы практически всегда присутствуют во фракции физической глины. Именно поэтому их иногда и называют глинистыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Так как распределение частиц по размеру в природе непрерывно, а разделение этого свойства на фракции просто удобный для сравнения, определения и понимания способ представления, то в последнее время пользуются реальными непрерывными распределениями частиц, отображая результаты гранулометрического анализа состава в виде дифференциальной и интегральной кривых. Этому способствуют и современные приборы, которые «выдают» результаты гранулометрического состава в виде этих двух типов кривых. При построении интегральной (или кумулятивной) кривой распределения гранулометрических частиц по данным о фракционном составе используется логарифмический масштаб шкалы диаметров частиц оси абсцисс, а на оси ординат – содержание (в % к массе абсолютно сухой почвы) частиц менее каждого конкретного диаметра. Иначе говоря, по оси ординат откладывают суммарное содержание частиц,

1-SHOBA: BIOSFERADAGI TUPROQ BIOGEOKIMYOVIY JARAYONLAR

которое может быть получено суммированием всех фракций меньшего размера вплоть до данной фракции. Полученные точки соединяют плавной кривой, которая, начинаясь со значений содержания ила (<0.001 мм), непрерывно возрастает, приближаясь к 100% при величинах диаметров самых крупных частиц (рис.2а). В случае построения дифференциальной кривой ось абсцисс имеет тот же вид, а вот по оси ординат откладывают процентное содержание каждой из фракций (рис.2б).

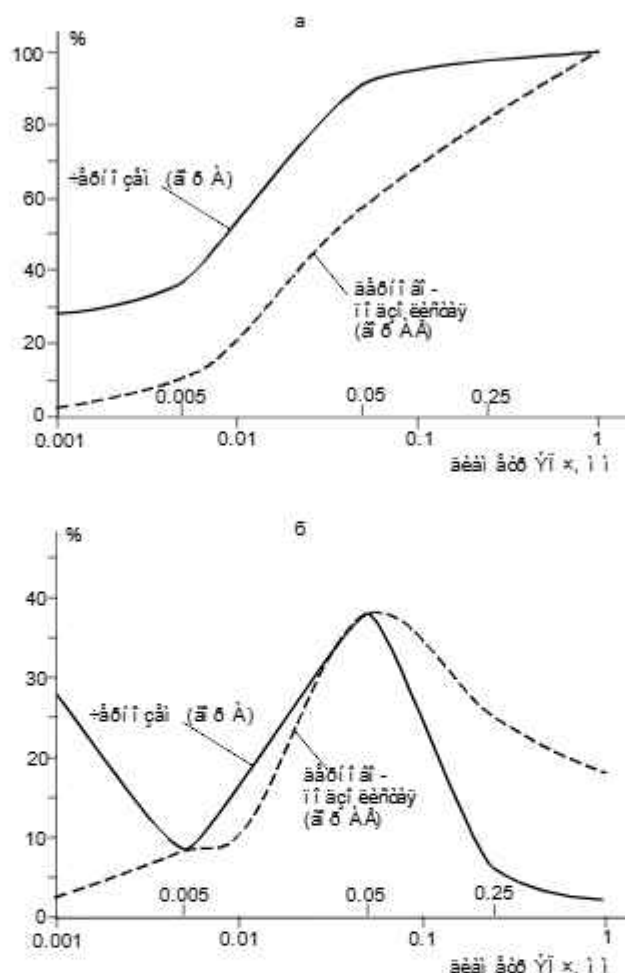


Рис.2. Интегральные (а) и дифференциальные (б) кривые гранулометрического состава тяжелосуглинистого чернозема (гор. А) и легкосуглинистого гор. АЕ дерново-подзолистой почвы.

Сегодня в мире приняты два основных принципа построения классификаций почв по гранулометрии: (1) основанный на относительном содержании физической глины (частицы <0.01 мм) с учетом содержания доминирующих фракций (классификация Н.А. Качинского) и (2) основанный на учете относительного содержания выделенных Аттербергом фракций физического песка, пыли и глины (Международная классификация и близкие к ней классификации общества почвоведов, агрономов США и др.). Иначе говоря, классификация Качинского – двучленная, так как основана на использовании, прежде всего, содержаний физического песка и физической глины, а международная – трехчленная, причем в разных странах границы между глиной, песком, пылью несколько различаются.

Очень важным является то, что Н.А. Качинский выделил градации не просто по содержанию физической глины, но и с учетом типа почвообразования. Действительно, например, глина тяжелая в подзолистых почвах будет выделяться при содержании физической глины более 80%, а в солончах – уже при 65%. Связано это с тем, что в солонце частицы глины совсем по-иному ведут себя, чем, скажем, в подзолистой почве. Глинистые частицы в солонце, как правило, насыщены ионом Na, имеют особые физико-химические и механические свойства – набухание, липкость и др. Следовательно, они начинают

1-SHOBA: BIOSFERADAGI TUPROQ BIOGEOKIMYOVIY JARAYONLAR

проявлять свойства «тяжелых» почв при их более низком содержании, чем частицы того же размера, но в почвах гумидной области. Таким образом, в классификации Н.А. Качинского учтено влияние качественного состава глинистых частиц, и, прежде всего, состава почвенного поглощающего комплекса и минералогии. Это очень тонкий момент, не учитываемый в других мировых классификациях.

Международная классификация, изображаемая в виде треугольника Ферре, где по левой стороне отложено содержание ила (частиц <0.002 мм), по правой – пыли (0.002–0.05 мм), а по основанию треугольника – содержание песка (0.05–2 мм) для определения классификационной принадлежности почвы требует уже три фракции. При этом, как уже было отмечено, границы в этих классификациях не совпадают, поэтому прямой переход из одной классификации в другую невозможен. Для этого необходимо использовать кумулятивные (интегральные) кривые распределения гранулометрических частиц. Пользуясь графической интерполяцией результатов анализа, мы можем определить содержание фракций, принятых в той или иной классификации.

Название почвы по гранулометрии дается по ее поверхностному горизонту. Однако, гранулометрический состав почвенных горизонтов может заметно различаться как за счет почвенных процессов, так и вследствие неоднородности материнских пород. Поэтому весьма важно представить гранулометрический состав не только поверхностного слоя, но и почвы в целом. В этом случае перед нами стоит задача охарактеризовать графически гранулометрический состав всего почвенного профиля, используя данные по гранулометрическому составу всех генетических горизонтов (слоев) почвенного профиля. Наилучшим способом представления и анализа профильных данных по гранулометрии является диаграмма гранулометрического состава почвы. На основании построенных диаграмм достаточно хорошо можно представить особенности почвенного профиля почвы и предположить те процессы, которые происходят в почвенном профиле.

Гранулометрический анализ. После этапа разделения частиц осуществляется определение содержания частиц того или иного размера с помощью, например, пипет-метода, основанного на принципе седиментометрии [1]. Для равномерного движения шарообразных частиц в жидкости используется закон Стокса:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 g (\rho_s - \rho_w)}{\eta},$$

где: v – скорость падения твердофазных частиц в жидкости, r – радиус частиц, g – ускорение свободного падения, ρ_s и ρ_w – плотности твердой фазы почвы и воды, η – динамическая вязкость.

Можно точно рассчитать глубину, на которой окажутся частицы определенного радиуса через определенное время, и с этой глубины в расчетное время отобрать пробу суспензии с частицами меньше (равного) заданного радиуса.

Можно использовать и другой принцип – измерять плотность суспензии по мере осаждения частиц разной крупности [2]. Изменение плотности также будет подчиняться закону Стокса, т.к. сначала понижение плотности суспензии будет происходить за счет выпадения самых крупных частиц, затем – все более мелких. Потом уже по изменяющейся во времени плотности суспензии рассчитывают содержание фракций. Рассмотрим следующие компоненты суспензии:

- M_s – масса осажденных частиц почвы;
- M_w – масса воды;
- V – объем суспензии (обычно 1 л),
- ρ_w – плотность воды,
- ρ_s – плотность твердой фазы,

Тогда плотность суспензии составит:

$$\rho_c = \frac{M_s + M_w}{V} \quad \text{или} \quad \rho_c = \frac{M_s + M_w}{V} = \frac{M_s + (V - (\frac{M_s}{\rho_s})) \cdot \rho_w}{V},$$

$$\rho_c V = M_s + \left(V - \frac{M_s}{\rho_s} \right) \cdot \rho_w$$

Нужная нам масса твердой фазы почвы (M_s) для соответствующего диаметра будет составлять:

$$M_s = \frac{V(\rho_c - \rho_w)}{1 - \frac{\rho_w}{\rho_s}}$$

В этом уравнении неизвестной величиной для расчета массы частиц определенного диаметра в определенное время является только ρ_c - плотность суспензии. Далее, по формуле Стокса, по этому времени рассчитываем соответствующий ему радиус частиц.

Большой популярностью в мировой практике до настоящего времени пользовался метод измерения плотности суспензии с помощью ареометра модификации Бойюкоса - гидрометра. Этот метод основан на том, что в процессе осаждения частиц плотность суспензии снижается, и ареометр (гидрометр) погружается. Необходимо только точно и последовательно брать отчеты по шкале ареометра, указывающие на изменение плотности суспензии. Как правило, современные приборы (Pario и аналоги) для измерения этого интегрального выталкивающего давления суспензии P_c используют точные датчики давления, установленные на строго контролируемой глубине h [3]. Из зависимости $P_c = \rho_c gh$ остается только в динамике рассчитать плотность суспензии ρ_c , а уже из этой экспериментально полученной динамики плотности суспензии рассчитывают в автоматическом режиме интегральную и дифференциальную кривые гранулометрического состава исследуемой почвы. Схемы методов, основанных на осаждении частиц, пипет-метод, метод ареометра (гидрометра Бойюкоса) и метод Pario представлены на рис.3.

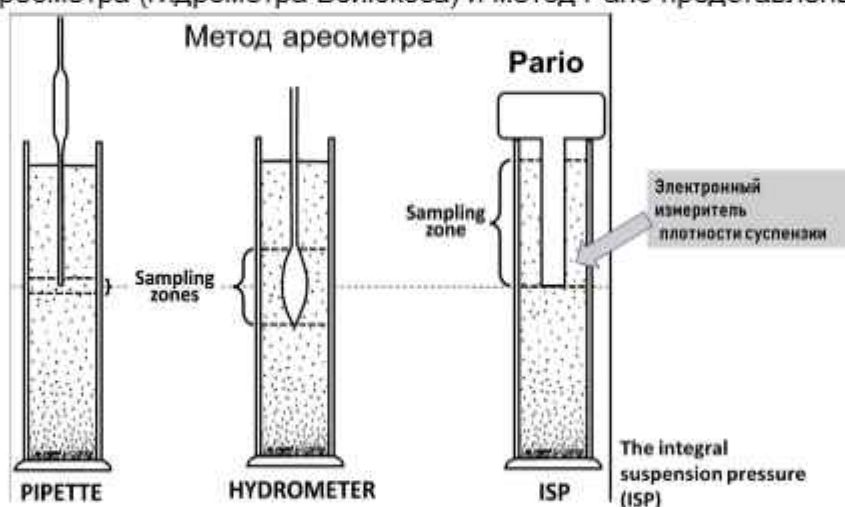


Рис.3. Седиментационные методы гранулометрического анализа: пипет-метод (метод Качинского), метод ареометра (гидрометра Бойюкоса) и метод измерения плотности (давления) суспензии (Pario). Пунктирными линиями обозначены анализируемые зоны.

Кроме того, имеются и специальные приборы для динамических определений плотности суспензии с помощью гамма-лучей. Эти приборы носят название седиграфы. Седиграфы используют принцип определения плотности суспензии по изменению интенсивного потока рентгеновского излучения, а в случае неокрашенных суспензий – изменения интенсивности светового потока при изменении плотности суспензии. Отметим, что последний метод (по измерению ослабления проходящего через суспензию светового луча) малоприменим для почв, так как в почвах практически всегда присутствует растворимая органика различных оттенков, дающая трудно учитываемую погрешность.

1-SHOBA: BIOSFERADAGI TUPROQ BIOGEOKIMYOVIY JARAYONLAR

Используются и несидентометрические (не использующие формулу Стокса) современные методы определения гранулометрического состава дисперсных тел, например, метод дифракционной лазерной гранулометрии. Этот метод, имеющий международный стандарт (ISO 13320), находит все более широкое распространение благодаря своей малой трудоемкости и простоте при наличии соответствующей приборной базы. Он основан на использовании лазерных лучей, которые, как известно, когерентны, а значит согласованны, упорядочены по длине волны (она фиксирована), а частота постоянна. Если такой луч направить на суспензию твердофазных частиц, то на светочувствительном экране после прохождения отразится дифракционная картина. Эта картина будет существенно определяться размерами частиц, входящими в эту суспензию.

Конечно, возникает вопрос, - как же различаются результаты, полученные седиментометрическим и дифракционным методами, - методами, имеющими различную физическую основу. Безусловно, результаты должны различаться, ведь в основе методов лежат разные физические принципы. Действительно, эти методы дают стабильные различия, и, что важно, особенно в тяжелосуглинистых богатых органическим веществом почвах. А вот в легких почвах, эти различия уменьшаются, и в некоторых случаях близки к нулю.

Некоторые гипотезы опирались на то, что частицы почвы разнообразны по форме, вплоть до пластинчатых, что особенно выражено в тяжелосуглинистых почвах. В формуле Стокса мы же оперируем некоторой абстрактной чисто теоретической сферической формой частиц. И, соответственно, частицы листоватой формы, будут падать в водной среде медленнее, чем сферические «стоксовские». Следовательно, эти частицы в случае применения седиментационного закона попадут в тонкие фракции, прежде всего, в илистую и тонкопылеватую. И чем больше этих несферических частиц, тем больше будут различия между результатами седиментационных и дифракционных методов, что и наблюдается в тяжелых почвах. Другая гипотеза связана с различиями в плотности твердой фазы у частиц разного размера. Так, органические частицы будут осаждаться медленнее, за счет малой плотности твердой фазы. Именно поэтому частицы органического вещества падают медленнее, и даже если их размеры больше, например, пылеватых, они попадут во фракцию ила. В результате в почвах с высоким содержанием органического вещества мы будем иметь сравнительно более высокие результаты в тонких фракциях по седиментационному методу.

ВЫВОДЫ

Итак, дисперсность – свойство почвы, проявляющееся в различном содержании частиц разного размера, а также в виде высокой удельной поверхности почвы, определяет водно-воздушные режимы и интенсивность протекания основных биогеохимических процессов. Содержание элементарных почвенных частиц в зависимости от их диаметра целесообразно анализировать в виде непрерывного распределения массы частиц - интегрального или дифференциального - по их размерам. Это позволяет выделить различные фракции ЭПЧ и определить классификационное положение почвы в различных классификациях. Гранулометрический состав является основой при прогнозе большинства почвенных свойств и процессов (педотрансферные функции). Эти исследования позволяют создавать искусственные почвы с заданными свойствами на основе смеси различных гранулометрических фракций (конструктоземы), что является очень интересным и быстро прогрессирующим направлением в почвоведении.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М. Агропромиздат, 1986.
2. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств почв. Методическое руководство / Под ред. Е.В.Шейна. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 200 с.
3. Durner, W.S.C. Iden, and G. von Unold (2017), The integral suspension pressure method (ISP) for precise particle-size analysis by gravitational sedimentation, Water Resour. Res., 53, 33-48, doi:10.1002/2016WR019830.