

## ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ НА СТРУКТУРУ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ТЕКСТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

К. Г. Моисеев<sup>1</sup>, В. В. Терлеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14;

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29,  
E-mail: kir\_moiseev@mail.ru

Поступила в редакцию 31 мая 2019 г., принята к печати 21 ноября 2019 г.

Нестабильность гидрологического цикла атмосферы неизбежно вызывает колебания водного режима почвы и приводит к изменению ее вещественного состава. В статье представлены результаты исследований изменения (с 1976 г. по 2014 г.) структуры почвенного покрова и текстуры почв земледельческого Менковского, расположенного в юго-восточной части Гатчинского района Ленинградской области. Для исследования выбраны почвы, наиболее распространенные на территории Менковского. Почвы сгруппированы по степени гидроморфизма. Текстура почв исследована методами ГОСТ 12536-2014 в классе размеров частиц: фракция песка 1–0,05 мм, крупнопылевая фракция 0,05–0,01 мм и фракция ила менее 0,001 мм. Проведен статистический анализ изменений текстуры почв и структуры почвенного покрова земледельческого. Группа разрезов, характеризующих один тип почвы, выбиралась с использованием коэффициента Пирсона ( $R^2$ ). Величины  $R^2$  для разных типов почв и фракций гранулометрического состава, исследованных в 1976 г. и 2014 г., колебались от 0,45 до 0,89. Значимость величины  $R^2$  оценена с использованием критерия достоверности  $t_r$  (корреляция значимая). Среднее содержание фракции песка во всех почвах варьировалось от  $57,2 \pm 6,0$  до  $87,3 \pm 2,2\%$ , содержание фракции ила – от  $1 \pm 0,1$  до  $13 \pm 1,1\%$ . Для оценки значимости изменений содержания фракций в почвах за исследуемый период применен статистический критерий Манна-Уитни ( $U$ ). Установлено достоверное изменение содержания илистой фракции в пахотных горизонтах почв ( $U = 0-2$  при  $U_{\text{крит}} = 4$ ). Согласно критерию  $U$ , изменения структуры почвенного покрова земледельческого за период исследования не являются статистически значимыми.

**Ключевые слова:** физика почв, изменение гидрологического цикла атмосферы, гранулометрический состав почв, вейвлет-анализ.

## THE IMPACT OF INCREASED PRECIPITATION ON THE STRUCTURE OF SOIL COVER AND SOIL TEXTURE

K. G. Moiseev<sup>1</sup>, V. V. Terleev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agrophysical Research Institute,  
195220, St. Petersburg, Grazhdansky 14;

<sup>2</sup>Federal State Saint Petersburg Polytechnic University Peter the Great,  
195251 St. Petersburg, Polytechnicheskaya, 29,  
E-mail: kir\_moiseev@mail.ru

The instability of the atmosphere hydrological cycle inevitably causes fluctuations in the soil water regime and can lead to changes in soil composition. Changes in the soil cover structure and soil texture that happened between the two soil surveys (1976 and 2014) in the soils of Menkove experimental station located in the South-Eastern part of the Gatchina district, Leningrad region, are presented in this paper. Most common soils of the Menkovo soil cover were studied. Soil texture was studied according to the GOST 12536-2014 for the following particles size classes: sand fraction – 1–0,05 mm, coarse silt fraction – 0,05–0,01 mm, and clay fraction – less than 0.001 mm. The data received were statistically analyzed. Pearson coefficient ( $R^2$ ) was used to combine soils of the same type into the same group. The values  $R^2$  for different soil types and particle size fractions studied in 1976 and 2014 ranged from 0.45 to 0.89. The significance of  $R^2$  by the reliability criterion  $t_r$  was estimated. The correlation was significant. The average content of the sand fraction for all the studied soils varied from  $57.2 \pm 6.0$  to  $87.3 \pm 2.2\%$ . The content of the clay fraction varied from  $1 \pm 0.1$  to  $13 \pm 1.1\%$ . The statistical Mann-Whitney criterion ( $U$ ) was used to assess the significance of changes in the content of soil particle size fractions during the period of study. A significant change in the content of clay fraction in the top soil of arable lands was found ( $U = 0-2$  at  $U_{CR} = 4$ ). Changes in the soil cover structure of the studied area during the study period were not statistically significant, according to calculated  $U$  criterion.

**Key words:** soil physic, changes in the hydrological cycle of atmosphere, particle-size composition soil, soil cover, soil texture change.

## ВВЕДЕНИЕ

В результате изменений климата увеличиваются количество и интенсивность осадков (Southworth et al., 2000; Vucur et al., 2011; Nearing et al., 2004). Данный глобальный процесс в известной мере затрагивает все страны мира (Nearing et al., 2004). Влияние изменений климата на инфраструктуру государств весьма существенно. Менее заметным, но не менее разрушительным является влияние изменений интенсивности увлажнения на функции почвы. Располагаясь на границе соприкосновения и взаимодействия литосферы, гидросферы и атмосферы (в сложной системе планетарных оболочек), почва играет специфическую роль особого экологического фильтра (Arshad et al., 2002) – мембраны, обеспечивающей протекание всех физических, физико-химических и биологических процессов в биосфере. Одновременно почва является средством производства сельскохозяйственной продукции, а также аккумулятором влаги и органических веществ. При повышении количества осадков, очевидно, увеличивается интенсивность процессов переноса вещества и энергии в почве. Это оказывает благоприятное или негативное влияние на экологическую функцию почвы.

Количество осадков и их интенсивность на Северо-Западе РФ увеличивались на протяжении XX века и, в соответствии с прогнозами, будут продолжать повышаться в течение XXI века. Процессы, связанные с воздействием климата на изменение почвы, являются довольно сложными. К ним относятся (Southworth et al., 2000): изменения структуры, количества и интенсивности осадков, количества дней осадков, отношения дождя к снегу, производства растительной биомассы, скорости разложения растительных остатков, интенсивности испарения. Сюда же следует отнести изменения сельскохозяйственных технологий, обусловленные необходимостью адаптации к новым климатическим условиям (Southworth et al., 2000; Vucur et al., 2011). Наряду с ожидаемыми изменениями температуры, интенсивности солнечной радиации и концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, в будущем также будет увеличиваться скорость протекания физических процессов в почве. В тех вероятных случаях, когда годовой уровень количества осадков будет соответствовать климатической норме или уменьшится, это может привести к интенсификации процесса изменения почвы. В связи с этим задачи данной работы заключались в следующем: 1) изучить

влияние изменений водного режима почв на изменение их текстурных свойств; 2) выяснить (на примере конкретного землепользования), происходят ли при изменении количества осадков изменения структуры почвенного покрова. Актуальность настоящей работы заключается в том, что влияние изменения гидрологического цикла атмосферы на почвенный покров и гранулометрический состав почв к настоящему времени изучено недостаточно. Кроме того, возможные изменения текстуры почв неизбежно приведут к изменению их физических и гидрофизических свойств. Поэтому исследование изменений текстуры почв необходимо для моделирования их гидрофизических функций (Terleev et al., 2016).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В рамках исследования изучено влияние изменений климата (с 1976 г. по 2014 г.) на структуру почвенного покрова и текстуру почв землепользования Меньково, расположенного в юго-восточной части Гатчинского района Ленинградской области. Местность имеет слаборассеченный рельеф, уклоны не превышают 5°, а высота большинства склонов от 1 до 3° достигает максимальных абсолютных отметок над уровнем моря (114 м). Землепользование располагается в 5 км к северо-востоку от истока р. Суйды в зоне «южной тайги». По геологическому строению это зона смены карбонатных пород и морен Ордовикского плато девонскими красноцветными песками. Пески частично перекрыты четвертичными супесчаными водно-ледниковыми отложениями и абрадированными моренами последнего оледенения. Для местности характерна пестрота почвообразующих пород. По текстуре все породы не тяжелее супесчаного и сулинистого (суглинок средний) гранулометрического состава.

Режим увлажнения территории за период наблюдений характеризовался средними величинами сезонных осадков и стоков (табл. 1). Для исследования динамики количества среднегодовых осадков, зафиксированного метеостанцией Санкт-Петербург за 120 лет, применен метод вейвлет-анализа с использованием программы «cwt1d». Метод позволяет судить об устойчивости или изменении трендов случайных процессов в хаотической динамической системе, точках бифуркации, а также о персистентности или антиперсистентности самой системы.

Таблица 1. Средние величины осадков и стока на территории землепользования Меньково за период 1976–2014 гг.

Количество осадков за год (мм)			Испарение (мм)	Поверхностный и внутрипочвенный сток		Эрозионный потенциал дождевых осадков (баллы)
теплый период	холодный период	сумма		теплый период	холодный период	
467	241	708	430	37	241	5,5–6,0

Коэффициент увлажнения  $KY > 1$ . Наблюдается локальное переувлажнение почв. Согласно данным

табл. 1, внутрипочвенный сток на землях пос. Меньково в теплый сезон отсутствует. Основной поток

воды проходит через почвы весной (с конца марта до начала мая). Данная ситуация связана в первую очередь с особенностями морфологического строения почв, а также со снеготаянием. Пестрота почвообразующих пород обуславливает формирование почв на легких по гранулометрическому составу двучленных наносах девонского и четвертичного периода. Иногда почвы формируются на трехчленных наносах, включающих среднесуглинистые морены, образованные карбонатными породами ордовикского периода. Остаточно-карбонатные морены расположены выше девонских песков и сверху перекрыты озерно-ледниковыми супесями и песками или абрадированными моренами. Более плотная порода (или горизонт почвы) служит водупором и поверхностью внутрипочвенного стока.

Почвенный покров землепользования изучался при помощи известного метода трансект с заложением полнопрофильных разрезов, разрезов неполного профиля и прикопок почв. При составлении почвенных карт масштаба 1:7500 применялась стандартная методика картографирования. Большинство разрезов расположено между 59°24'–59°25'N и 29°59'–30°03'E. Изучался почвенный блок наиболее распространенных на территории землепользования агродерново-подзолов, агродерново-подзолистых типичных, агродерново-подзолистых глееватых, глеевых и иллювиально-гумусово-железистых почв. По гранулометрическому составу изученные почвы представляют собой супесчаные разности (Моисеев, Зинчук, 2014). Сравнивались результаты картографирования и лабораторного анализа почв, полученные в 1976 г. и 2014 г. Сравнительное исследование текстуры почв по результатам анализов их грансостава, выполненных в 1976 г. и 2014 г., проведено на основе имеющейся базы данных (Моисеев и др., 2013). Анализ текстуры почв в 1976 г. и 2014 г. проводился седиментационными методами по ГОСТ 12536.

В 1976 г. пробоподготовка осуществлялась при помощи пиррофосфатного метода, выделение фракций текстуры почвы из суспензии – пипет-метода.

В 2014 г. пробоподготовка производилась с помощью пиррофосфатного метода с ареометрическим продолжением. Для определения текстуры или отдельно фракции ила в некоторых образцах почв дополнительно использовался пипет-метод. Ультразвук при пробоподготовке не применялся.

В аспекте поставленной в работе задачи сопоставление результатов исследований, проведенных в разное время, является чрезвычайно важным.

Провести сравнительный анализ изменения текстуры почв за 40 лет позволяют следующие условия:

1. Все исследованные почвы пространственно расположены в пределах одного землепользования.

2. Сравниваемые почвы не засолены, не содержат гипса и не являются карбонатными. Дерново-подзолистые почвы и подзолы в связи с особенностями их образования подвергаются постоянной промывке водой и гидролизу твердой

фазы, вследствие чего различия в результатах исследований почв, проведенных в разное время, являются минимальными.

3. Различия между показателями содержания фракций, определенными пипет-методом и ареометрическим способом, обусловлены более глубоким погружением ареометра в суспензию. Это происходит в результате совместного или отдельного влияния двух основных факторов: уменьшения плотности суспензии и утяжеления самого ареометра. При анализе необходимо не допускать утяжеления ареометра за счет оседания на его плечах твердых частиц. Чтобы этого не происходило, следует строго соблюдать требования ГОСТ 12536-2014 по проведению ареометрического анализа. Также исправить положение можно, если проводить анализ текстуры почв ареометром и пипет-методом в суспензиях разной плотности.

Если при помощи ареометрического способа установлено, что содержание фракции физической глины составляет, например, 9–10% (пограничное значение в соответствии с гранулометрической классификацией Почвенного института), то почву следует классифицировать в сторону утяжеления грансостава.

4. Помимо лабораторных, инструментальных методов определения текстуры почв существуют полевые, органолептические методы. Необходимо сравнивать данные, полученные с помощью прямых и косвенных методов определения текстуры почв.

5. Работа с большими массивами экспериментальных данных и статистический анализ позволяют достаточно точно определить тип текстуры почв.

При сравнительном анализе текстуры почв учитывалась все перечисленные обстоятельства, а также результаты промежуточных вычислений и дополнительная информация.

Разумеется, все это не отменяет некоторую условность сравнения имеющихся в распоряжении данных о гранулометрическом составе почв, определенном с помощью различных методов седиментационного анализа. Знания о границах применимости, условностях каждого метода и инструментальных погрешностях на практике предполагают некоторую договоренность о степени доверия к результатам сравнительного анализа. Авторы допускают, что для дерново-подзолистых супесчаных почв (с содержанием органических веществ 2–3% в дневных горизонтах и не содержащих карбонаты) южной части Ленинградской области различия результатов определения текстуры, полученных при помощи инструментальных способов, не являются критическими. Изменения текстуры почв в отдельных случаях настолько существенны, что перебивают погрешность методов.

Возможно, оценка достоверности различий между результатами, полученными при помощи разных инструментальных методов, является целесообразной, однако в рамках настоящего исследования такой анализ не был проведен в достаточном для статистики объеме представления данных. Сравнение методик седиментационного

анализа почв проведено в основном с использованием литературных данных (Вадюнина, Корчагина, 1986; Квеско, 2002; Шеин, 2009; Буданова и др., 2013; Шеин и др., 2018). Сравнительное исследование методов инструментального продолжения пирофосфатного способа пробоподготовки для гранулометрического анализа почв является темой отдельной статьи, специально посвященной данному вопросу. Здесь следует отметить, что перечисленные условия и договоренности позволяют провести анализ изменения текстуры почв, а также анализ направленности (трендов) указанных изменений при изменении гидрологического цикла атмосферы за 40 лет.

Образцы почв исследованы по размеру частиц в классе: песок 1–0,05 мм, пыль 0,005–0,01 мм, тонкая пыль 0,001–0,005 мм и ил менее 0,001 мм. Почвенные разрезы для отбора образцов в 2014 г. закладывались с частотой, соответствующей требованиям к построению карт масштаба 1:7500, при этом учитывались рабочие материалы почвенной съемки 1976 г. Всего в 2014 г. образцы для лабораторного анализа отобраны из 52 разрезов.

По данным 1976 г. группы почв сформированы в зависимости от проявления или отсутствия признаков глеевого процесса в профиле. Распределения частиц по размерам сравнивались внутри генетической группы почв. Корреляция между свойствами почвы и достоверность различий распределения частиц по размерам оценивались при помощи коэффициента корреляции Пирсона ( $p \leq 0,05$ ). При отсутствии или слабой корреляционной связи почвы не попадали в одну группу. По данным 2014 г.

произведена аналогичная процедура группировки почв. Такой алгоритм позволил собрать репрезентативный материал для сравнительного статистического анализа результатов исследований почв, проведенных в 1976 и 2014 гг. Статистически исследовано распределение по глубине почв фракций крупной пыли, песка и ила. Достоверность различий текстуры по горизонтам и глубине почв определялась с помощью критерия значимости Манна-Уитни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамический ряд изменения количества осадков, зафиксированного станцией Санкт-Петербург за 120 лет, показан на рис. 1. На рисунке заметен тренд увеличения количества осадков за прошедший период. Однако по величине коэффициента Пирсона невозможно с уверенностью судить о достоверности изменений количества осадков за последние 43 года. В связи с этим был применен вейвлет-анализ.

Результаты вейвлет-анализа динамики осадков в течение 120 лет представлены на рис. 2. Они свидетельствуют, что с 1975 г. количество осадков увеличилось. Периоды увеличения и уменьшения среднегодовых норм осадков (протяженностью 3–15 лет) до 1975 г. носили локальный характер и сменяли друг друга. С 1975 г. происходит заметное увеличение количества осадков на Северо-Западе РФ. Характерные вилочки диаграммы на рис. 2 показывают, что гидрологический цикл атмосферы является фракталом: к его исследованию применимы представления теории фракталов и хаоса.

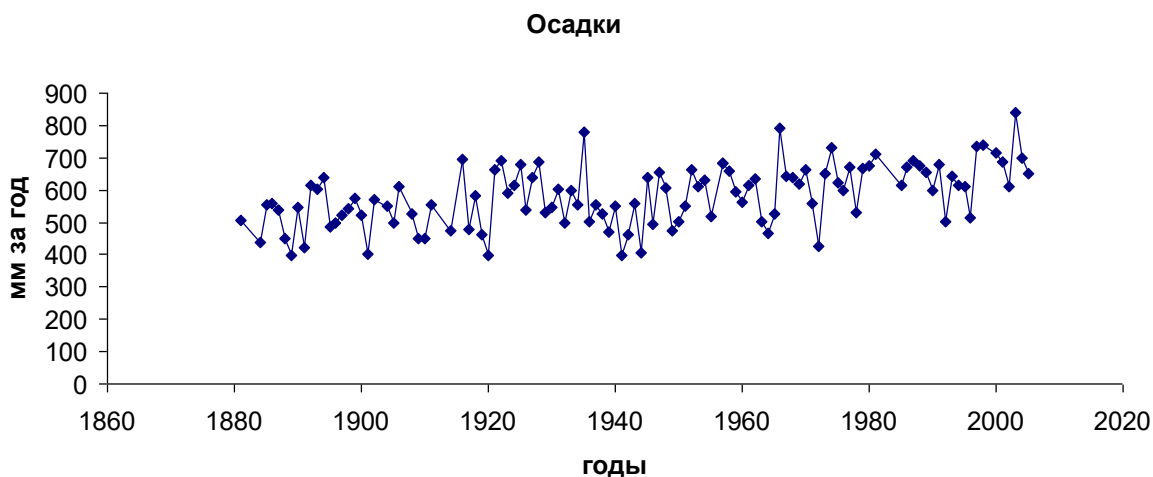


Рис. 1. Динамика количества среднегодовых осадков за 120 лет (г. Санкт-Петербург)

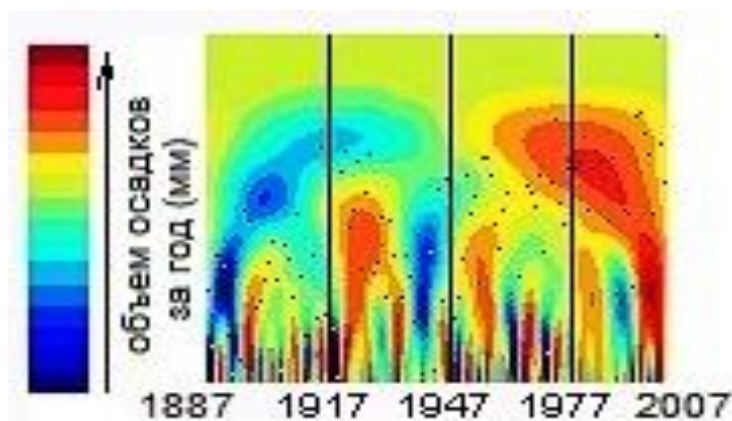


Рис. 2. Результаты вейвлет-анализа динамики осадков

Хаотическая (вероятностная) динамическая система прошла точку бифуркации в 1975–1977 гг., то есть, согласно анализируемым данным, с указанного времени гидрологический цикл атмосферы Ленинградской области изменился, увлажнение почв увеличилось.

В таежно-лесной зоне российского сектора водосбора Балтийского моря специфика нативных почв и почв, используемых в сельскохозяйственном производстве, обусловлена отдельным или совместным действием трех элементарных почвообразовательных процессов (Зайдельман, 2003). В условиях избыточного грунтового увлажнения получает развитие процесс глееобразования, для которого характерна миграция железа и марганца. Отток растворов, содержащих  $Fe^{2+}$  и  $Mn^{2+}$ , приводит к формированию элювиально-глеевого горизонта, обедненного данными элементами. Гидроокислы железа и марганца имеют специфический цвет, по которому (а также по наличию конкреций и примазок Fe–Mn и их распределению по профилю почв) можно определить разновидности глееватых, поверхностно- и глубокооглеенных почв. Виды почв земледелия Менъково по гидроморфизму определяются глубиной расположения верховодки в их профилях. Расположение безнапорной внутрипочвенной воды в почвах земледелия зависит от сочетаний пород, формирующих почву. Наиболее близко к поверхности она расположена на глубине 45–50 см. Верховодка часто формируется в слоях крупнозернистого девонского песка, в отдельных случаях залегающего на глубине 1,5 м. Довольно часто в середине теплого сезона верховодка отсутствует. Линзообразное залегание крупнозернистых песков с гравием и аккумуляция воды в таких лакунах приводят к

появлению на сельскохозяйственных полях блюдцеобразных вымочек с избыточным увлажнением почвы. В растительном покрове залежных земель Менъково типичные гигрофиты (таволга) могут встречаться рядом с типичными ксерофитами – мятликом луговым, чертополохом, лапчаткой песчаной. Водный режим почв резко изменяется на сравнительно небольшом пространственном расстоянии (0,5–1,0 м).

Для реализации задачи исследования проведено районирование наиболее распространенных на территории земледелия почв по степени гидроморфизма (Зайдельман, 2003). Выделено три группы почв (табл. 2) (Моисеев, Зинчук, 2014).

Доля каждой группы почв выражена в процентах от общей площади почвенного покрова. Изменения доли, занимаемой группой почв в площади почвенного покрова земледелия, за период 1976–2014 гг. не являются статистически (по критерию Манна-Уитни) достоверными. Изменение гидрологического цикла атмосферы не привело к существенному изменению структуры почвенного покрова земледелия.

Внутрипочвенное перераспределение гранулометрических элементов (ЭПЧ) оказалось существенным. В табл. 3 приведены средние значения содержания анализируемых фракций ЭПЧ по горизонтам почв для групп разрезов, характеризующих почвы разного генезиса. Определен достоверный интервал, который позволяет установить разброс значений содержания той или иной фракции ЭПЧ в отобранной на основании корреляционного анализа группе разрезов почв одного типа.

Таблица 2. Почвенный покров территории земледелия Менъково

Почвы автоморфного генезиса	Агродерново-подзолистые типичные
Почвы полугидроморфного генезиса	Агродерново-подзолистые глееватые
	Агродерново-подзолы контактно-элювиальные
Почвы гидроморфного генезиса	Агродерново-подзолы глеевые
	Темногумусовые глеевые типичные

Таблица 3. Среднее содержание фракций ЭПЧ, доверительный интервал

Почвенный горизонт	Фракция грансостава почв	Агродерново-подзолистые типичные		Агродерново-подзолистые глееватые		Почвенный горизонт	Агродерново-подзолы глеевые	
		1976	2014	1976	2014		1976	2014
<i>P</i> 0–30 см	песок, %	60,1±4,5	66,5±3,6	57,0±6,0	63,4±4,5	<i>P(A)g</i> 0–25 см	58,1±3,8	71,4±6,6
	пыль, %	20,7±4,1	17,4±2,0	24,9±4,9	18,3±1,4		25,5±2,1	13,2±4
	ил, %	4,7±0,7	1,1±0,1	4,6±0,6	2,2±0,9		5,7±2,2	2,7±1,1
<i>E (Eg)</i> 30–40 см	песок, %	76,5±7,8	81,5±4,4	64,8±5,9	59,3±11,0	<i>BHFg</i> 40–50 см	73±7,3	57,2±14,5
	пыль, %	6,1±1,5	5,6±1,3	13,5±3,1	15,0±6,4		12,1±5,9	22,6±11,7
	ил, %	2,7±0,5	1,5±0,21	5,1±1,4	5,1±2,1		5,4±1,7	4,3±1,3
<i>BEL (BELg)</i> 40–55 см	песок, %	72,4±3,5	86,1±3,1	78,6±11,3	82,3±6,1	<i>BG (G)</i> 70–80 см	76,7±7,7	75,1±9,1
	пыль, %	7,2±2,8	4,3±1,4	7,2±5,0	4,8±1,9		10,2±5,9	8,6±6,3
	ил, %	9,1±1,8	2,9±0,8	6,2±2,7	4,7±3,7		5,0±2,0	3,9±1,5
<i>BT</i> 60–90 см	песок, %	70,4±1,6	86,2±7,0	85,7±10,5	75,9±12	<i>BC (G)</i> 85–90 см	79,5±9,0	84,3±7,0
	пыль, %	7,7±2,5	3,2±0,8	5,4±4,4	4,4±1,3		7,7±6,8	3,9±2
	ил, %	13,2±1,1	5,8±1,8	9,3±7,0	4,7±2,6		4,1±1,6	3,2±1,9
<i>C</i> >110 см	песок, %	70,3±3,4	83,4±2,2	–	–	<i>CG</i> >110 см	–	87,3±2,2
	пыль, %	8,8±1,4	3,6±0,6	–	–		–	2,6±0,7
	ил, %	12,6±1,7	3,4±1,9	–	–		–	3,1±0,7
	<i>Kd</i> *	6,53	2,67	2,0	1,0			

\* Средний коэффициент дифференциации профиля по илу

В табл. 4 представлены величины коэффициента корреляции Пирсона. Группировка данных осуществлялась в зависимости от наличия или отсутствия корреляционной связи. Разрезы, взаимно не коррелирующие по содержанию фракций ЭПЧ, не

попадали в один массив данных. Значимость величин  $R^2$  менее 0,5 оценена с помощью критерия надежности.

Наглядно изменения относительного содержания фракций ЭПЧ пыли, ила и песка в почвах автоморфного генезиса с 1976 г. по 2014 г. показаны на рис. 3.

Таблица 4. Результаты корреляционного анализа (к отбору разрезов почв одного генетического типа и года исследования, входящих в одну группу по содержанию фракций текстуры)

Название почв по классификации 2004 г.	Величины коэффициента Пирсона					
	агродерново-подзолистые типичные		агродерново-подзолистые глееватые		агродерново-подзолы глеевые	
Фракция грансостава	1976	2014	1976	2014	1976	2014
Песок, %	0,49	0,89	0,52	0,50	0,84	0,61
Пыль, %	0,83	0,98	0,60	0,71	0,88	0,49
Ил, %	0,73	0,54	0,70	0,53	0,52	0,45



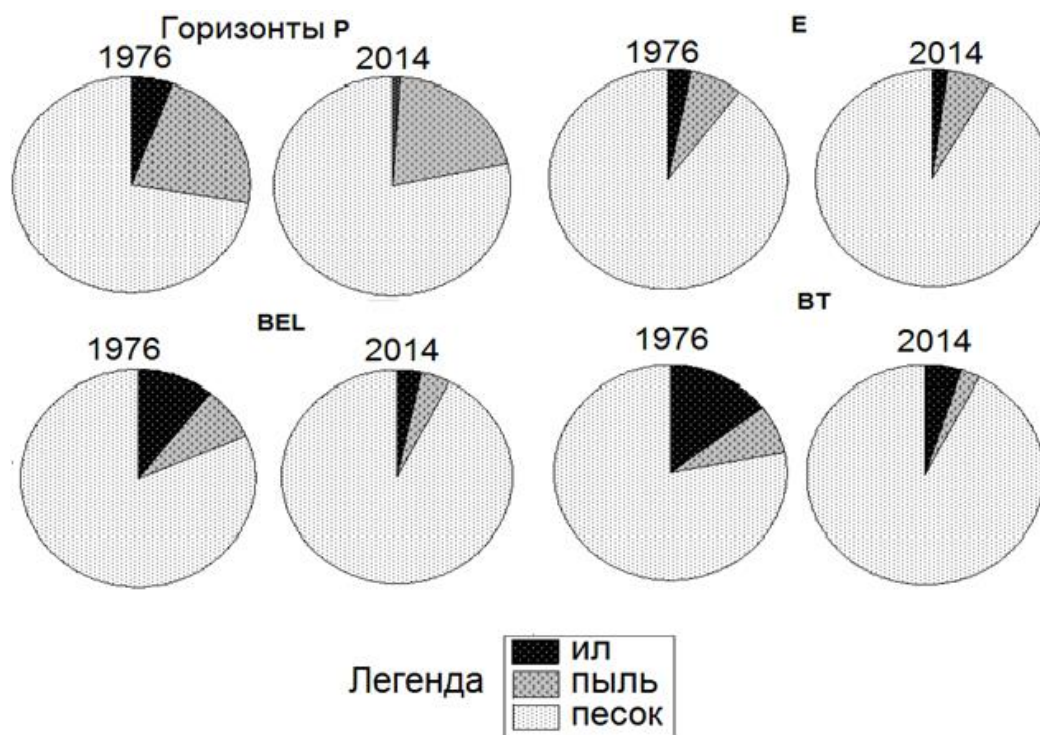


Рис. 3. Циклограммы изменения с 1976 г. по 2014 г. гранулометрического состава агродерново-подзолистых типичных почв по горизонтам (средние данные по нескольким разрезам)

Из рисунка следует, что изменения коснулись илистой фракции ЭПЧ почв. Также относительно увеличилось содержание песчаной фракции грансостава. Наибольшая вариация содержания фракций ЭПЧ внутри группы почв одного генезиса характерна для горизонтов ВТ агродерново-подзолистых глееватых почв в 1976 г. и для горизонта Еg группы агродерново-подзолов глеевых в 1976 и 2014 гг. Содержание ила в почвах всех типов, исследованных в 2014 г., значительно варьируется (за исключением группы агродерново-подзолистых типичных почв). В горизонтах агродерново-подзолистых глеевых почв значительно варьируется содержание пылеватой фракции ЭПЧ. Такая вариабельность приводит к тому, что изменения

грансостава данных почв за 40 лет не являются статистически достоверными. Наиболее выраженные и статистически достоверные изменения содержания илистой фракции отмечены в горизонтах агродерново-подзолистых типичных почв (табл. 5). В субэлювиальном и текстурно-дифференцированном горизонтах указанных почв содержание всех фракций достоверно изменилось. В отношении пылеватой и песчаной фракций такая ситуация малопонятна и может быть объяснена тем, что достоверность и недостоверность различий между содержанием ЭПЧ данных фракций являются пограничными по критерию Манна-Уитни. Поэтому незначительные ошибки анализа в данном конкретном случае могут иметь существенное значение.

Таблица 5. Значения статистики Манна-Уитни

	Агродерново-подзолистые типичные				Агродерново-подзолистые глееватые				Агродерново-подзолы глеевые			
	Р	Е	BEL	BT	Р	Еg	BELg	BT	P(A)g	BHFg	BG (G)	
Индекс горизонта	Р	Е	BEL	BT	Р	Еg	BELg	BT	P(A)g	BHFg	BG (G)	
Крит. значения U	1	2	1-4	1	6	6	6	6	1	1	1	
крит. фр.	песок	4	8	0(4)*	0**	9,0	21,0	16,0	16,0	19,0	7,0	7,0
	пыль	2	8	0(2)	1	4,0	16,0	26,0	16,0	19,0	7,0	7,0
	ил	0	2	0(1)	0	6,0	21,0	29,0	8,0	19,0	7,0	7,0

\* В скобках представлено критическое значение критерия Манна-Уитни для данного объема выборки.

\*\* Выделена область значений, в которой изменения содержания фракций гранулометрических элементов достоверно различаются.

В пахотном и элювиальном горизонтах агродерново-подзолистых типичных почв статистически значимо изменилось содержание фракции ила. Также произошли статистически значимые и существенные изменения текстуры агродерново-подзолистых глееватых почв (табл. 3), что обусловлено особенностями их водного режима. Вынос частиц водой происходил, скорее всего, посредством внутрипочвенного бокового стока.

В почвах землепользования, возможно, происходит явление лессиважа - выноса частиц ила с потоком воды. Данный факт подтверждается изменениями текстуры почв землепользования Меньково: илистая фракция гранулометрического состава почв удалена за пределы почвенного профиля и осаждена в дренах. Коэффициент дифференциации по илу (Кд) профилей агродерново-подзолистых типичных почв в среднем уменьшился в два раза (табл. 3), агродерново-подзолистых глееватых почв – с 2,0, в 1976 г. до 1,0 в 2014 г. Аккумуляционная способность песчано-пылеватых почвенных разностей землепользования Меньково определяется наличием в текстуре илистой и пылевой фракции. Увеличение инфильтрации влаги вызвало снижение аккумуляционной способности почв, что в итоге приведет к изменению их гидрофизических свойств. Учитывая влияние распределения частиц по размерам на ОГХ (Терлеев и др., 2014), можно сделать вывод, что достоверное изменение

текстуры неизбежно приводит к изменению функции водоудерживающей способности (ОГХ) почв. Для доказательства подобного утверждения необходимы данные по ОГХ за 1976 г., которые отсутствуют.

## ВЫВОДЫ

Вейвлет-анализ климатических данных показал, что гидрологический цикл атмосферы на Северо-Западе РФ (в Ленинградской области) изменился в 1976–1977 гг., количество осадков увеличилось. При изменении гидрологического цикла атмосферы структура почвенного покрова землепользования Меньково изменилась недостоверно.

В почвах автоморфного генезиса (агродерново-подзолистых типичных) отмечены достоверные изменения текстуры во всех почвенных горизонтах, количество илистой фракции в субэлювиальных горизонтах почв значительно уменьшилось. Текстура почв гидроморфного генезиса практически не изменилась с 1976 г. В почвах полугидроморфного генезиса достоверные изменения текстуры произошли только в дневных горизонтах.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-04-00939-а.

## Список литературы

- Буданова Т. Е., Озмидов О. Р., Озмидов И. О. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 66–73.
- Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. 3-е изд. М., 1986. 416 с.
- ГОСТ 12536-2014 (взамен ГОСТ 12536-79) Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.
- Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв. 3-е изд. М.: МГУ, 2003. 448 с.
- Информационно-справочная система по классификации почв России v 1.0. Информационный ресурс. Дата обращения: 23–30 марта 2019. <http://info soil.ru/index.php?pageID=correlation>
- Квеско Н. Г. Закономерности процесса слоистой седиментации частиц в жидкой среде применительно к практической гранулометрии: дисс. док. техн. наук. Томск, Томский политехнический университет, 2002. 255 с.
- Моисеев К. Г., Зинчук Е. Г. Крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии // Агрофизика. 2014. № 3. С. 8–17.
- Моисеев К. Г., Гончаров В. Д., Зинчук Е. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Гурин П. Д., Старцев А. С., Пищик В. Н. База данных почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова, геоморфологическое строение, физические и геохимические свойства почв). Свидетельство о регистрации базы данных RUS 2013620682 22.03.2013.
- Терлеев В. В., Топаж А. Г., Миршель В., Гурин П. Д. Моделирование водоудерживающей способности почвы на основе представлений о капиллярном гистерезисе и логнормальном распределении пор по размерам: теория // Агрофизика. 2014. № 1. С. 9–19.
- Шеин Е. В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций // Почвоведение. 2009. № 3. С. 309–317.
- Шеин Е. В., Мадя А. И. Гранулометрический состав почв: методы лазерной дифракции и седиментометрии, их сравнение и использование // Агрохимический вестник. 2018. № 1. С. 9–11.
- Arshad M. A., Martin S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems // Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, no. 88, pp. 153–160.



- Bucur D., Jitareanu G., Ailincăi C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of Food // Agriculture & Environment*, 2011, no. 9(2), pp. 207–209.
- Nearing M. A., Fernando F. P., O'Neal M. R. Expected Climate Change Impacts on Soil Erosion Rates: A Review // *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, v. 59, no. 1, pp. 43–50.
- Southworth J., Randolph J. C., Habeck M., Doering O. C., Pfeifer R. A., Rao D. G., Johnston J. J. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, no. 82, pp. 139–158.
- Terleev V., Petrovskaya E., Nikonorov A., Badenko V., Volkova Yu., Pavlov S., Semenova N., Moiseev K., Topaj A., Mirschel W. Mathematical Modeling the Hydrological Properties of Soil for Practical Use in the Land Ecological Management (in press). DOI: 10.1051/mateconf/20167303001.

### References

- Budanova T. E., Ozmidov O. R., Ozmidov I. O. Sovremennyye metody izucheniya granulometricheskogo sostava gruntov [Modern methods of studying the granulometric composition of soils]. *Inzhenernyye izyskaniya*, 2013, no. 8, pp. 66–73.
- Vadiunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods of investigation of physical properties of soils]. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow: Higher School Publishing, 1986. 416 p.
- GOST 12536-2014 (vzamen GOST 12536-79) Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava [Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution].
- Zaidelman F. R. *Melioratsiya pochv* [Soil amelioration]. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow: Moscow University Publishing, 2003. 448 p.
- Informatsionno-spravochnaya sistema po klassifikatsii pochv Rossii v1.0*. Informatsionnyi resurs. Data obrashcheniya: 23–30 marta 2019. <http://infoil.ru/index.php?pageID=correlation>.
- Kvesko N. G. *Zakonomernosti protsessy sloyevoi sedimentatsii chastits v zhidkoi srede primenitel'no k prakticheskoi granulometrii*. Diss. dok. tekhn. nauk [Regularities of the process of layered sedimentation of particles in a liquid medium in relation to practical granulometry. Dr. tekhn. sci. diss.]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2002. 255 p.
- Moiseev K. G., Zinchuk E. G. Krupnomasshtabnaya pochvennaya karta Men'kovskogo filiala Agrofizicheskogo instituta Rossel'khozakademii [Large-scale soil map of the Menkovsky branch of the Agrophysical Institute of the Russian Agricultural Academy]. *Agrofizika*, 2014, no. 3, pp. 8–17.
- Moiseev K. G., Goncharov V. D., Zinchuk E. G., Rizhiya E. Ya., Boitsova L. V., Gurin P. D., Startsev A. S., Pishchik V. N. *Baza dannykh pochvennogo pokrova Men'kovskogo filiala GNU AFI Rossel'khozakademii (struktura pochvennogo pokrova, geomorfologicheskoye stroeniye, fizicheskiye i geokhimicheskiye svoystva pochv)* [The soil cover database of the Menkovsky branch of the GNU APhI of the Agricultural Academy (structure of the soil cover, geomorphological structure, physical and geochemical properties of soils)]. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh RUS 2013620682 22.03.2013.
- Terleev V. V., Topazh A. G., Mirshel V., Gurin P. D. Modelirovaniye vodouderzhivaiushchei sposobnosti pochvy na osnove predstavlenii o kapillyarnom gisterezise i lognormal'nom raspredelenii por po razmeram: teoriya [Simulation of soil water retention capacity based on ideas about capillary hysteresis and log-normal pore size distribution: theory]. *Agrofizika*, 2014, no. 1, pp. 9–19.
- Shein E. V. Granulometricheskii sostav pochv: problemy metodov issledovaniya, interpretatsii rezul'tatov i klassifikatsii [Particle-size composition of soils: problems of research methods, interpretation of results and classifications]. *Pochvovedeniye*, 2009, no. 3, pp. 309–317.
- Shein E. V., Mad A. I. Granulometricheskii sostav pochv: metody lazernoi difraktsii i sedimentometrii, ikh sravneniye i ispol'zovaniye [Particle-size composition of soils: methods of laser diffraction and sedimentometry, their comparison and use]. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2018, no. 1, pp. 9–11.
- Arshad M. A., Martin S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, no. 88, pp. 153–160.
- Bucur D., Jitareanu G., Ailincăi C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of Food // Agriculture & Environment*, 2011, no. 9(2), pp. 207–209.
- Nearing M. A., Fernando F. P., O'Neal M. R. Expected Climate Change Impacts on Soil Erosion Rates: A Review // *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, v. 59, no. 1, pp. 43–50.
- Southworth J., Randolph J. C., Habeck M., Doering O. C., Pfeifer R. A., Rao D. G., Johnston J. J. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the Midwestern United States // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2000, no. 82, pp. 139–158.
- Terleev V., Petrovskaya E., Nikonorov A., Badenko V., Volkova Yu., Pavlov S., Semenova N., Moiseev K., Topaj A., Mirschel W. Mathematical Modeling the Hydrological Properties of Soil for Practical Use in the Land Ecological Management (in press). DOI: 10.1051/mateconf/2016