

УДК 631.4

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ СЕРНОКИСЛЫХ
ВЫТЯЖЕК КАК ОТРАЖЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ
ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ГУМИДНОГО АГРОЛАНДШАФТА

О. А. Анциферова

SEASONAL DYNAMICS OF OPTICAL DENSITY OF SULFURIC ACID
EXTRACTS AS A REFLECTION OF SOIL HUMIC SUBSTANCES MOBILITY IN
THE CONDITIONS OF HUMID CULTIVATED LAND

O. A. Antsiferova

Исследования проводили на двух ключевых участках в Зеленоградском районе Калининградской области в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Измеряли оптическую плотность вытяжек (при длине волны 440 нм), получаемых при обработке навески свежей почвы 0,1 н H₂SO₄ при соотношении почва:раствор 1:5. Погодные условия в период исследований (ноябрь-декабрь 2013 г.) близки к средним многолетним. Изучены почвы с кислой реакцией среды гумусового горизонта. Окраска сернокислых вытяжек на 83 % обусловлена наличием органических веществ фульвокислотной природы. В глееватых почвах вершин холмов и склонов выявлена слабая корреляционная связь динамики оптической плотности с влажностью. В почвах, аккумулирующих геохимические потоки веществ, связь с влажностью средняя (буроземы глеевые и малогумусные дерново-глеевые почвы длительного поверхностного заболачивания). Чем выше содержание гумуса, тем более выражена амплитуда сезонных изменений оптической плотности и теснее корреляционная связь с влажностью. Максимальные сезонные колебания оптической плотности выявлены в многогумусных дерново-глеевых почвах замкнутых понижений с кислой реакцией среды гумусового горизонта. Проведен мониторинг динамики уровня рН (водная и солевая вытяжки) на разных почвенных ареалах. Сезонная динамика рН в гумусовом горизонте почв разной степени гидроморфизма составляет 0,3 – 0,5 ед. В большинстве почв просматривается тенденция увеличения оптической плотности сернокислых вытяжек в ноябре – декабре. Одновременно достоверно снижается величина рН на 0,2 – 0,4 ед. Это связано с накоплением продуктов разложения свежего опада травянистой растительности в почвах с кислой реакцией среды.

сернокислые вытяжки, оптическая плотность, буроземы оглеенные, дерново-глеевые почвы

Investigations were carried out on two key sites in the Zelenograd district of the Kaliningrad region, within the Sambiyaskaya hilly moraine plain. Optic density of extracts was measured (at a wavelength of 440 nm), obtained by the treatment of fresh soil lots 0.1n H₂SO₄ at a ratio of soil to solution of 1:5. Weather conditions during the study period (November-December 2013) were close to the long-term average. Soils

with acidic reaction of the humus horizon were studied. Staining of sulfuric acid extracts is on 83% stipulated by the presence of organic substances of fulvoacid nature. In gleyic soils of hilltops and slopes found weak correlation between optical density moisture dynamics has been found. In soils accumulating geochemical flows substances connection with moisture is of average degree (gley burozems and little humus content of sod-gley soil of surface of long-term waterlogging). The higher humus content is, the more marked the amplitude of the seasonal changes in the optical density is and the closer correlation with moisture is. The maximum seasonal variations in the optical density have been revealed in high humus content sod-gley soils of closed depressions with acid reaction of the humus horizon. Monitoring of pH dynamics (water and salt extraction) on different soil areas is carried out. Seasonal dynamics of pH in the humus horizon of soils with various degrees of hydromorphism is equal to 0.3 - 0.5. In most soils tendency is observed of increase in optical density of sulfuric acid extracts in November and December. At the same time, pH is reduced by 0.2 - 0.4. This is due to the accumulation of decomposition products of fresh herbaceous vegetation litter in an acidic reaction of environment.

sulfuric acid extraction , optical density, gleyed blackearth, sod-gley soils

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание уделяется изучению соотношения подвижных (лабильных) и консервативных (инертных) компонентов в составе гумуса почв агроландшафтов [1 - 5].

Часть подвижных гумусовых веществ (обычно фульвокислотной природы), переходящая в вытяжки почв при исследованиях физико-химических и химических свойств почв с применением фотометрических приборов, мешает анализу. Поэтому окрашенные вытяжки рекомендуется обрабатывать 30%-ной перекисью водорода, азотной кислотой или смесью (1:10:4) концентрированных кислот H_2SO_4 , HNO_3 , $HClO_4$ для разрушения органического вещества [6 - 7]. Однако при проведении мониторинговых исследований, например сезонной динамики подвижного железа в почвах гумидной зоны, окраска сернокислотных вытяжек несет определенную почвенно-экологическую информацию. Поэтому мы считаем, что имеет смысл отдельно определять оптическую плотность вытяжек при длине волны 440 нм до разрушения органического вещества.

Во-первых, проведение мониторинга связано в данном случае с отбором серии образцов почв гумусового горизонта с каждого почвенного ареала. Несмотря на относительную трудоемкость работ, необходимо проводить отбор не смешанного, а индивидуальных образцов для выявления варьирования показателя в пределах почвенного ареала. Во-вторых, исследование сопряженного ряда почв в катенах позволит выяснить не только закономерности изменения содержания общего углерода, но и динамику подвижных веществ фульвокислотной природы в разных почвах. В-третьих, получаем возможность отследить изменения оптической плотности в конкретных погодных условиях месяца, сезона, года в целом.

Актуальность таких исследований именно в почвах гумидных агроландшафтов объясняется тем, что плодородие почв во многом создается не только удобрением, но и известкованием с последующим неизбежным

подкислением почв. В современных экономических условиях у сельскохозяйственных предприятий далеко не всегда находятся средства на проведение известкований, поэтому почвы подкисляются как естественным путем, так и вследствие применения физиологически кислых минеральных удобрений. Так, в Калининградской области в последние 20 лет резко сократились объемы известкования и возросла площадь кислых почв [8]. Преобладающий тип гумуса почв (дерново-подзолистых, буроземов разной степени оглеения) в регионе гуматно-фульватный [9]. Подкисление почв на сельскохозяйственных угодьях вызывает увеличение подвижных фракций, в том числе и «свободных» фульвокислот, активно мигрирующих вниз по профилю, а в условиях холмистого рельефа - с латеральным стоком в понижения. Проведение сложного анализа фракционного-группового состава гумуса для целей мониторинга не всегда возможно. А экспресс-анализ оптической плотности сернокислотных вытяжек позволяет установить некоторые закономерности влияния влажности, pH, содержания гумуса, окислительно-восстановительных и погодных условий и потенциально удобрений и растительности на подвижность фульвокислот, извлекаемых непосредственно 0,1 н H₂SO₄ (примерно соответствуют фракции ФК1а – свободные или связанные с подвижными полуторными оксидами фульвокислоты с участием неспецифических органических веществ).

В задачи исследования входило: 1) установить связь степени окраски сернокислых вытяжек из гумусовых горизонтов с содержанием органического вещества; 2) изучить сезонную динамику оптической плотности сернокислых вытяжек; 3) выявить закономерности изменения оптической плотности сернокислых вытяжек в почвах разной степени увлажнения в условиях холмистых агроландшафтов Калининградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на двух ключевых участках в Зеленоградском районе Калининградской области в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины, представляющих собой поля, различающиеся сроками проведения известкования: на участке «Перелески» - конец 90-х гг. 20 в., «Холмогоровка» - 2002 г. Во время изучения поля находились в залежи в течение двух лет. В период проведения исследований на участке «Перелески» в гумусовом горизонте абсолютного большинства почв преобладала сильно- и среднекислая реакция среды (pH_{KCl} 4,2 – 4,9). На участке «Холмогоровка» в гумусовом горизонте почв доминировала слабокислая реакция среды (pH_{KCl} 5,1 – 5,5).

Измеряли оптическую плотность вытяжек (при длине волны 440 нм в кюветах 1 см на приборе КФК-3), получаемых при обработке навески свежей почвы 0,1 н H₂SO₄ при соотношении почва:раствор 1:5, после 5-минутного взбалтывания и фильтрования (впоследствии органическое вещество разрушалось и проводился анализ подвижного железа Fe²⁺, Fe³⁺). Содержание органического углерода в вытяжках определяли по методу Тюрина в модификации Симакова титриметрически с предварительным выпариванием аликвоты. Статистическая обработка выполнена в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия 2013 г. отражены на рис. 1. По количеству обеспеченности осадками за год (794 мм), в зимний период (184 мм), в период с апреля по август (338 мм), в летний период (235 мм) показатели этого года оказались средними по сравнению с многолетними данными (1948 – 2013 гг.). Особенностью современных климатических условий западной части Калининградской области является частая повторяемость лет с положительной среднемесячной температурой декабря [10].

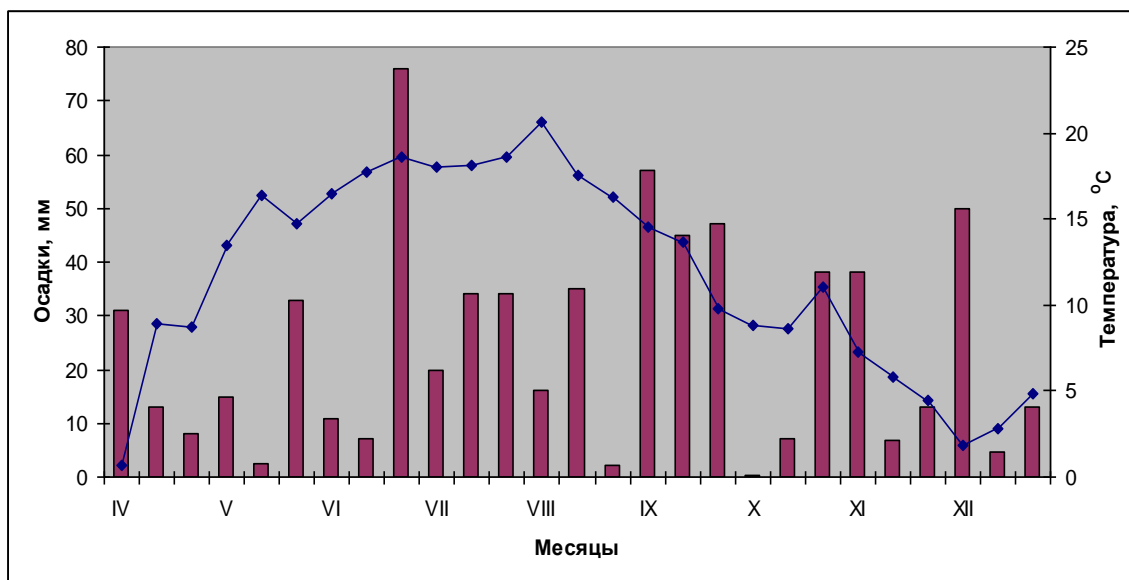


Рис. 1. Осадки и ход температуры воздуха по декадам 2013 г.
 Fig. 1. Precipitation and temperature curves over the decades of 2013

В период исследований как раз сложились такие условия, поэтому почвы не промерзали, в замкнутых понижениях – заболачивались, на повышениях и склонах влажность в гумусовом горизонте находилась в интервале «наименьшая влагоемкость – полная влагоемкость». Происходила активная геохимическая миграция в условиях холмисто-волнистого рельефа полей. Микробиологические процессы замедлялись, но не прекращались.

Массив экспериментальных данных за апрель - декабрь 2013 г. по различным почвенным ареалам на двух ключевых участках подвергли корреляционному и регрессионному анализу. Получили, что корреляционная зависимость «содержание подвижного железа – оптическая плотность вытяжки» является отрицательной ($r = -0,41$), в то же время коэффициент корреляции между содержанием органического углерода и величиной оптической плотности вытяжек составил 0,91, а коэффициент детерминации 0,83. Следовательно, окраска сернокислых вытяжек связана с переходом в них растворимого органического вещества предположительно фульвокислотной природы.

Одной из вероятных причин варьирования значений оптической плотности во времени является динамика влажности. Но на практике в пределах поля с холмистым рельефом чередуются в пространстве автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные условия, а значит, и режим влажности (в том числе и гумусового горизонта) различных почв отличается. Почвенный покров

сельскохозяйственных угодий западной части Калининградской области достаточно сложный. Причинами являются: 1) пестрота почвообразующих пород в пространстве (зона краевых ледниковых образований с последующей пересортировкой верхней толщи отложений ледниковыми водами); 2) контрастность геоморфологических условий (холмы нередко асимметричной формы с эрозионной проработкой чередуются с понижениями с обилием замкнутых микрозападин). В таких условиях на вершинах холмов сформировались буроземы супесчаные и легкосуглинистые (без признаков оглеения и слабogleеватые при наличии в профиле заиленных горизонтов или линз тяжелых пород). Склоны занимают буроземы, оглеенные в разной степени, в том числе слабо- и среднесмытые. В нижних частях и у подошвы склонов, в неглубоких понижениях, в зависимости от режима увлажнения формируются оглеенные буроземы или дерново-подзолистые почвы. Все оглеенные почвы осушаются системой закрытого дренажа. Наличие глинистых линз вблизи поверхности (10 – 40 см) приводит к длительному застою воды. Такие участки занимают дерново-глеевые (иловато-глеевые) почвы с невысоким содержанием органического углерода (1,5 – 2,5 %). Для замкнутых микрозападин с контрастным увлажнением и залеганием глинистых прослоек глубже 40 см характерны высокогумусные дерново-глеевые почвы (содержание органического углерода 4 – 5,5 %), произошедшие из перегнойно-глеевых почв при их гидротермической деградации в результате осушения.

Нами изучен аспект динамики оптической плотности в зависимости от режима влажности в разных почвах. На ключевом участке «Перелески» в условиях преобладающей кислой реакции среды по степени корреляционной связи в паре признаков «полевая влажность - оптическая плотность» за апрель – декабрь 2013 г. можно выделить три группы почв:

1) буроземы глееватые супесчаные и легкосуглинистые – слабая степень корреляции ($r = 0,14 - 0,30$);

2) буроземы неоглеенные и глеевые супесчаные и легкосуглинистые, дерново-глеевые малогумусные (иловато-глеевые) с длительным поверхностным застоем воды – средняя степень корреляции ($r = 0,47 - 0,59$);

3) многогумусные дерново-глеевые среднесуглинистые и дерново-остаточно-подзолистые супесчаные гумусово-железистые – сильная степень корреляции ($r = 0,70 - 0,80$).

Таким образом, в почвах, аккумулирующих геохимические потоки, сильнее выражена зависимость оптической плотности сернокислых вытяжек от влажности по сравнению с почвами транзитных позиций рельефа (склоны крутизной свыше $2 - 3^0$), а также глееватыми буроземами вершин холмов.

Сырые погодные условия июня, июля и сентября (соответственно, 94, 88 и 148 мм осадков) вызвали увеличение оптической плотности сернокислых вытяжек в некоторых почвах (рис. 2 – 3).

Чем выше содержание гумуса, тем более выражена амплитуда сезонных изменений оптической плотности (рис. 2 – 3). Многогумусные почвы занимают замкнутые депрессии рельефа и их периферии, куда поступает сток с окружающих повышенных элементов рельефа. Поэтому увеличение влажности в дождливые периоды приводит к активной миграции подвижного органического вещества в составе почвенных растворов в понижения.

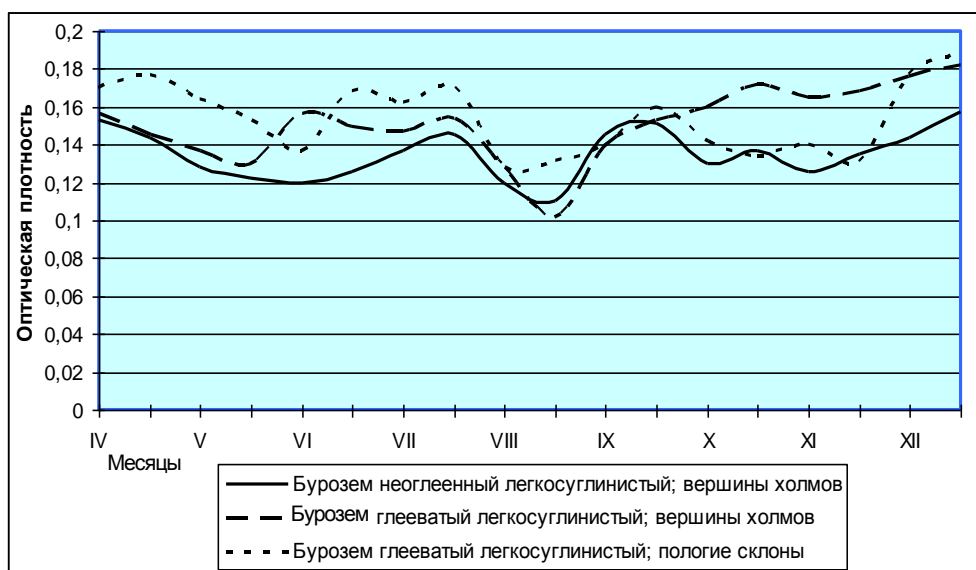


Рис. 2. Динамика оптической плотности сернокислых вытяжек из гумусовых горизонтов буроземов (усредненные данные по нескольким почвенным ареалам)
 Fig. 2. Dynamics of the optical density of sulfuric acid extracts of humus horizons of blackearth (average data for several soil areas)

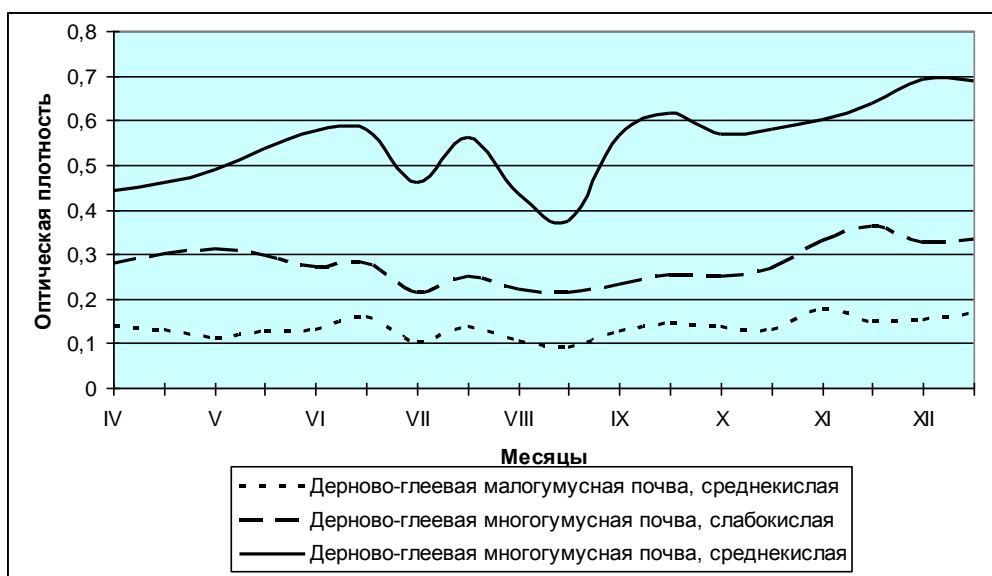


Рис. 3. Динамика оптической плотности сернокислых вытяжек из гумусовых горизонтов дерново-глеявых почв
 Fig. 3. Dynamics of the optical density of sulfuric acid extracts of humus horizons of sod-gley soils

Высокое содержание гумуса и кислая реакция среды являются причинами значительных количеств подвижных фульвокислот в многогумусных почвах по сравнению с малогумусными буроземами (содержание органического углерода 0,8 – 1,5 %).

Кислая реакция гумусового горизонта дерново-глеевых почв обусловлена длительным внесением на полях гидролитически кислых минеральных удобрений (сульфат аммония и аммонийная селитра под озимую пшеницу и рапс). Быстрота агрогенного подкисления почв замкнутых микрозападин зависит от площади и глубины последних, площади водосбора, буферной способности гумусового горизонта, содержания гумуса, гранулометрического состава, глубины залегания карбонатного горизонта. На рис. 3 показаны отличия динамики оптической плотности в трех ареалах дерново-глеевых почв.

Амплитуда колебаний оптической плотности максимальная в многогумусной дерново-глеевой почве со среднекислой реакцией среды и содержанием органического углерода 5,2 – 5,8 %. Значения оптической плотности ниже в дерново-глеевой почве с содержанием органического углерода 3,8 – 4,2 % и слабокислой реакцией среды.

В условиях слабокислой и близкой к нейтральной реакции среды почв ключевого участка «Холмогоровка» сохранялись закономерности, выявленные в динамике оптической плотности по участку «Перелески».

Нами проведен мониторинг динамики уровня рН (водная и солевая вытяжки) на разных почвенных ареалах. Результаты показали общую сезонную динамику рН в пределах 0,3 – 0,5 ед. (рис. 4), что для большинства почв недостоверно, так как укладывается или перекрывает границы естественного варьирования этого признака в пространстве почвенного ареала. Однако в большинстве почв просматривается тенденция снижения средних значений рН в ноябре – декабре параллельно с достоверным увеличением оптической плотности сернокислых вытяжек.

Предположительно это связано с накоплением продуктов разложения свежего опада травянистой растительности. В условиях кислой реакции среды почвенного раствора гумусовых горизонтов разложение опада происходит в основном микроскопическими грибами. Образуется много предгумусовых неспецифических веществ кислотной природы. При повышенной влажности осенних месяцев снижается окислительно-восстановительный потенциал и гумификация тормозится. Почвенный раствор насыщается ионами H^+ , что приводит к снижению уровня рН.

Таким образом, выявлена связь между снижением уровня рН и увеличением оптической плотности сернокислых вытяжек в ноябре-декабре. Этот факт требует дальнейшей проверки в различных условиях землепользования и в годы различной влажности.

ВЫВОДЫ

1. Окраска сернокислых вытяжек на 83 % обусловлена наличием органических веществ фульвокислотной природы.
2. Чем выше содержание гумуса, тем более выражена амплитуда сезонных изменений оптической плотности и теснее корреляционная связь с влажностью.
3. Наиболее тесная корреляция динамики оптической плотности с влажностью выявлена в многогумусных дерново-глеевых почвах замкнутых западин.
4. В большинстве почв разной степени гидроморфизма просматривается тенденция увеличения оптической плотности сернокислых вытяжек в ноябре – декабре параллельно со снижением рН.

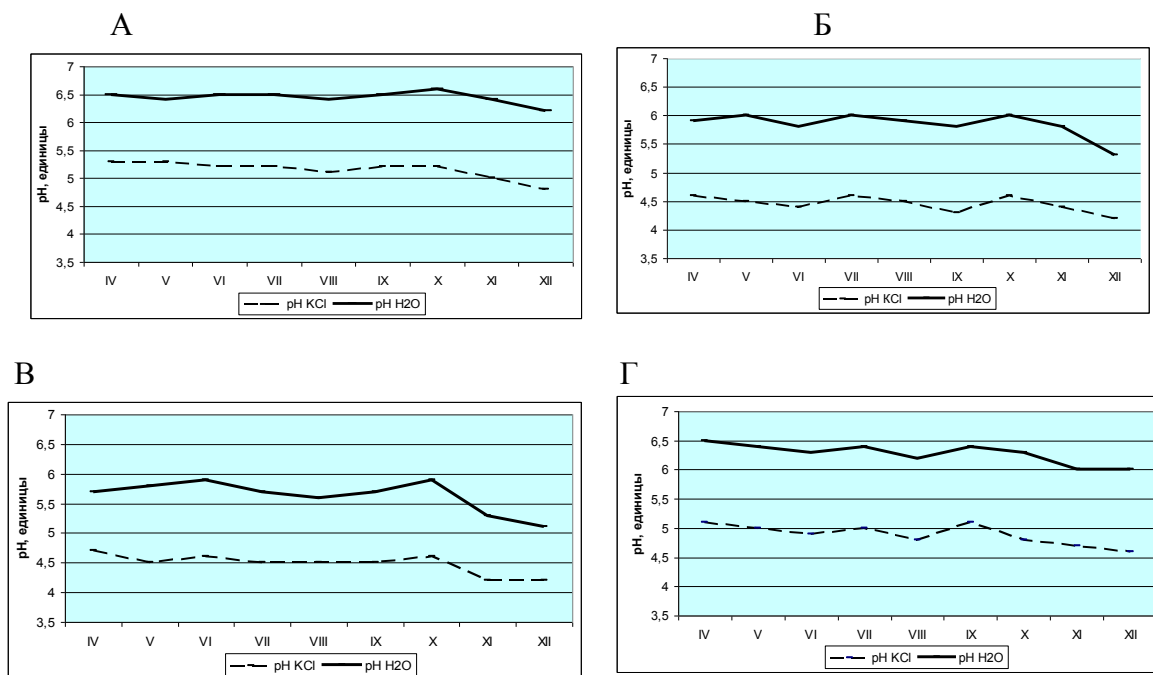


Рис. 4. Динамика pH: а) в буроземе неоглеенном, вершина холма, разрез 511; б) в буроземе глееватом на склоне, разрез ПР-10; в) в дерново-глеевой почве малогумусной с длительным поверхностным затоплением, разрез 522; г) в многогумусной дерново-глеевой почве, разрез 533

Fig. 4. Dynamics of pH: a) in non-gleyed blackearth, the top of the hill, profile 511; b) in gleysolic blackearth on the slope, profile PR -10; v) in the little humus content of sod-gley soil with long surface waterlogging, profile 522; g) in high-humus sod-gley soil, profile 533

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Овчинникова, М. Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ в разных условиях землепользования на примере дерново-подзолистой почвы: автореф. дис. докт. биол. наук: 03.00.27 / Овчинникова М. Ф. – Москва, 2007. – 33 с.
2. Куликова, Н. А. Сравнительная характеристика элементного состава водорастворимых гуминовых веществ, гуминовых и фульвокислот дерново-подзолистых почв / Н. А. Куликова, И. В. Перминова // Вестник Московского ун-та. Сер. 17. Почвоведение, 2010. - № 4. – С. 16 – 19.
3. Изменение содержания и состава подвижных гумусовых веществ в дерново-подзолистых почвах под влиянием различных систем удобрения / В. В. Лапа [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук, 2012. - № 4. – С. 44 – 48.
4. Chefetz, B. Structural characterization of humic adds in particle-size fraction an agricultural soil / B. Chefetz, J. Tarchitzcy, A. P. Deshmukh, P. G. Hatcher, Y. Chen // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. V.66. №1. P.129-141.

5. Gaffney, J. S. Humic and fulvic acids and organic colloidal materials in the environment / J. S. Gaffney, N. A. Marly, S. B. Clark // Humic and Fulvic Acids. Isolation, Structure, Environmental Role. Amer. Chem. Soc. Washington. 1996.
6. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва, 1970. – 488 с.
7. Воробьева, Л. А. Химический анализ почв / Л. А. Воробьева. – Москва: Изд-во МГУ, 1989. – 272 с.
8. Химизация земледелия Калининградской области за 40 лет (1966 – 2005 гг.): справочник / В. И. Панасин [и др.] – Калининград: Изд-во КГТУ, 2007. – 139 с.
9. Анциферова, О. А. Почвы Замландского полуострова и их антропогенное преобразование: в 2 ч. / О. А. Анциферова. – Калининград, 2008. – Ч. I. Факторы почвообразования. Почвы подзолистого и буроземного рядов, 397 с.
10. Анциферова, О. А. Влияние агроклиматических условий на интенсивность водной эрозии и урожайность сельскохозяйственных культур на супесчаных буроземах / О. А. Анциферова // Плодородие. – 2013. – № 3. – С. 28 – 30.

REFERENCES

1. Ovchinnikova M. F. *Osobennosti transformatsii gumusovykh veshchestv v raznykh usloviyakh zemlepol'zovaniya na primere dornovo-podzolistoy pochvy. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk* [Aspects of transformation of humus substances within different land-use conditions as exemplified by sod-podzolic soil. Abstract of dis. Dr. Sci. (Biology)]. Moscow, 2007, 33 p.
2. Kulikova N. A., Perminova I. V. Sravnitel'naya kharakteristika elementnogo sostava vodorastvorimyykh guminovykh veshchestv, guminovykh i ful'vokislot dornovo-podzolistyykh pochv [Comparative analysis of elements composition of water-soluble substances, humus and fulvoacids of sod-podzolic soils]. *Vestnik Moskovskogo un-ta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 2010, no. 4, pp. 16 – 19.
3. Lapa V. V., Seraya T. M., Bogatyreva E. N. i dr. Izmenenie sodержaniya i sostava podvizhnykh gumusovykh veshchestv v dornovo-podzolistyykh pochvakh pod vliyaniem razlichnykh sistem udobreniya [Changes in content and composition of mobile humus substances in sod-podzolic soils as affected by different fertilizer systems]. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk*. 2012, no. 4, pp. 44 – 48.
4. Chefetz B., Tarchitzcy J., Deshmukh A. P., Hatcher P. G., Chen Y. Structural characterization of humic adds in particle-size fraction an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002, vol. 66, no, pp. 129-141.
5. Gaffney J. S., Marly N. A., Clark S. B. Humic and fulvic acids and organic colloidal materials in the environment. Humic and Fulvic Acids. Isolation, Structure, Environmental Role. Amer. Chem. Soc. Washington. 1996.
6. Arinushkina E. V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guidelines for chemical analysis of soils]. Moscow, 1970, 488 p.
7. Vorob'eva L. A. *Khimicheskiiy analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, Izd-vo MGU, 1989, 272 p.

8. Panasin V. I., Ryaboy V. E., Serzhant O. P., Chashkina A. V., Rymarenko D.A. *Khimizatsiya zemledeliya Kaliningradskoy oblasti za 40 let (1966 – 2005 gg.): spravochnik* [Use of chemicals in agriculture of the Kaliningrad region over the period of 40 years (1966-2005)]. Kaliningrad, Izd-vo KGTU, 2007, 139 p.

9. Antsiferova O. A. *Pochvy Zamlandskogo poluostrova i ikh antropogennoe preobrazovanie. Chast' I. Faktory pochvoobrazovaniya. Pochvy podzolistogo i burozemnogo ryadov* [Soils of Sambia Peninsula and their anthropogenic change. Part I. Factors of soil formation. Soils of podzolic and blackearth types]. Kaliningrad, 2008, 397 p.

10. Antsiferova O. A. Vliyanie agroklimaticheskikh usloviy na intensivnost' vodnoy erozii i urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na supeschanykh burozemakh [Influence of agricultural conditions on the intensity of water erosion and yield capacity of agricultural crops in sandy-loam blackearth]. *Plodorodie*, 2013, no. 3, pp. 28 – 30.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Анциферова Ольга Алексеевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;
E-mail: anciferova@inbox.ru

Antsiferova Olga Alekseevna – Kaliningrad State Technical University;
PhD, Associate Professor; E-mail: anciferova@inbox.ru