

---

## FORESTRY

---

DOI: <https://doi.org/10.23649/jae.2022.28.8.011>

Danilov D.A.<sup>1</sup>, Zaitsev D.A.<sup>2\*</sup>, Yanush S.Yu.<sup>3</sup>, Yakovlev A.A.<sup>4</sup>, Ivanov A.A.<sup>5</sup>, Vaiman A.A.<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Leningrad Research Institute of Agriculture "Belogorka" — branch of the "Federal Potato Research Center named after A.G. Lorkh", Belogorka village, Russia;

<sup>1</sup> St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russia

\* Corresponding author (disoks[at]gmail.com)

Received: 02.12.2022; Accepted: 09.12.2022; Published: 19.12.2022

### THE AGROCHEMICAL STATE OF POSTAGROGENIC SOILS ON THE UPLAND ELEVATION OF THE SOUTH-WEST OF LENINGRAD OBLAST

Research article

#### Abstract

The article examines the state of a postagrogenic soil complex on an upland elevation in the south-west of Leningrad Oblast (Russia). During the period of cessation of active economic use on the site, there was a natural process of restoration of tree and shrub vegetation replacing the ruderal-pratal stage. Standard methods of agrochemical research were used to study changes in the soil complex. Agrochemical parameters in accordance with flank areas of the elevation. Factorial variance analysis was used to study the obtained data. Geochemical runoff of active forms of potassium and phosphorus to the lower parts of the slope during the vegetation period occurs on the examined area. There is an increase in the content of organic matter and gross nitrogen in the slope profile. The ratio C:N on soil horizons indicates a high mineralization parameter in the soil complex. The influence of the upland terrain on the migration of active forms of potassium during the vegetation period is traced, depending on the change in the reaction of the soil solution. As the terrain decreases, both the content of active forms of potassium and the level of soil acidity increases. For active phosphorus, this tendency is less significant. The analysis showed that the humus content in soil postagrogenic horizons has the most significant contribution to the presence of total nitrogen, on the pH level 58% of the sum of all factors, mobile aluminum 32% and the sum of exchange bases 38% of all possible influencing parameters. Early indication and diagnosis of numerous processes in postagrogenic soils, including self-healing, can be carried out by acid-base properties, humus state, as well as various forms of iron, aluminum and manganese. No deterioration in the properties of postagrogenic soils occurs, at this stage the transformation of site towards the natural forest soils of the region is not observed.

**Keywords:** postagrogenic lands, soils on two-member sediments, upland, terrain, agrochemical parameters, fertility, succession, forest live cover, tree and shrub vegetation, factorial variance analysis.

Данилов Д.А.<sup>1</sup>, Зайцев Д.А.<sup>2\*</sup>, Януш С.Ю.<sup>3</sup>, Яковлев А.А.<sup>4</sup>, Иванов А.А.<sup>5</sup>, Вайман А.А.<sup>6</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Ленинградский НИИСХ «Белогорка» филиал «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», д. Белогорка, Россия;

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

\* Корреспондирующий автор (disoks[at]gmail.com)

Получена: 02.12.2022; Доработана: 09.12.2022; Опубликована: 19.12.2022

### АГРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ НА ПЛАКОРНОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ЮГО-ЗАПАДА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

#### Аннотация

В статье рассмотрено состояние постагрогенного почвенного комплекса на плакорной выположенной возвышенности в условиях юго-запада Ленинградской области (Россия). За период прекращения активного хозяйственного пользования на участке произошел естественный процесс восстановления древесно-кустарниковой растительности замещающий рудерально-луговую стадию. Для исследований изменений в почвенном комплексе применялись стандартные методы агрохимических исследований. Агрохимические показатели варьируют по склоновым частям возвышенности. Для анализа полученных данных использовался факторный дисперсионный анализ. На обследуемом участке происходит геохимический сток подвижных форм калия и фосфора к нижним частям склона в течение вегетационного периода. Наблюдается увеличение содержание органического вещества и валового азота по профилю склонов. Соотношение C:N по почвенным горизонтам указывает на высокий показатель

минерализации в почвенном комплексе. Прослеживается влияние плакорного рельефа на миграцию подвижных форм калия за период вегетации в зависимости от изменения реакции почвенного раствора. С понижением рельефа увеличивается как содержание подвижных форм калия, так и уровень кислотности почвы. Для подвижного фосфора эта тенденция менее выражена. Проведённый анализ показал, что наиболее значимый вклад содержание гумуса в почвенных постагрогенных горизонтах оказывает на наличие общего азота, на уровень рН 58 % от суммы всех факторов, подвижного алюминия 32% и суммы обменных оснований 38% от всех возможных влияющих показателей. Раннюю индикацию и диагностику многочисленных процессов в постагрогенных почвах, включая самовосстановление, можно осуществлять по кислотно-основным свойствам, гумусовому состоянию, а также различным формам железа, алюминия и марганца. Ухудшения свойств постагрогенных почв не происходит, на данном этапе залежности участка трансформации в сторону природных лесных почв региона не наблюдается.

**Ключевые слова:** постагрогенные земли, почвы на двучленных наносах, плакорная возвышенность, рельеф, агрохимические показатели, плодородие, сукцессия, живой напочвенный покров, древесно-кустарниковая растительность, факторный дисперсионный анализ.

## **1. Введение**

В настоящее время для большинства регионов России имеются весьма разнообразные своей информативностью экспериментальные данные по агрохимическому состоянию постагрогенных почв в связи со сменой землепользования и восстановления на них растительности в зависимости от степени прекращения активного их использования [1], [2], [3], [7]. На сельскохозяйственных землях, выведенных из активного пользования после начала восстановления растительности начинает происходить трансформация строения профиля и морфологии почвы и превалировать естественные процессы почвообразования [1], [9]. В бореальной зоне данный процесс проявляется наиболее интенсивно, учитывая критический характер земледелия. На заброшенных сельскохозяйственных землях происходит естественный процесс сукцессии растительных сообществ, который в итоге должен привести к восстановлению исходной растительности и существенным изменениям состояния старопахотных почв. Его следует рассматривать как важный фактор современной эволюции почв России [5], [6], [10], [21]. Забрасывание пахотных угодий сопровождается снятием сельскохозяйственной нагрузки и запускает сложный процесс восстановления, как зонального растительного покрова, так и почвенного плодородия – залежную сукцессию, которая сопровождается сравнительно быстрой дифференциацией пахотного горизонта, образованием дернины на поверхности и органо-минеральных горизонтов [3], [16]. Проведение сравнительного анализа изменений в почвенном комплексе при восстановлении живого напочвенного покрова и древесной растительности позволяет прогнозировать этот процесс.

Состав элементов в почвенном покрове, их распределение и ассоциации определяются комплексом факторов почвообразования. Прежде всего, это почвенно-биологический круговорот веществ в результате жизнедеятельности живых организмов и разложения их остатков [3], [8], [16], [21]. Избирательное поглощение веществ изменяет почвы по сравнению с материнской породой, определяет глобальную геохимическую работу растений. Преобладание восстановительных процессов в почве вызывает снижение ее плодородия и требует проведения мероприятий по регулированию почвенных окислительно-восстановительных условий. На постагрогенных почвах в зависимости от статуса участка с разной скоростью происходит накопление органического вещества в почве [8].

В почвах, которые много лет не распахивают, минерализация почвенного органического вещества в верхних и приповерхностных горизонтах снижается и увеличивается накопление органического вещества. При этом наблюдается строгая связь между поверхностным накоплением почвенного органического материала, соответствующей вертикальной стратификацией углерода и устойчивостью почвы к эрозии [20]. При наличии многочисленных работ по изучению процессов происходящих в почвенном комплексе, остаётся не полностью исследованным антропогенно-изменённые сельскохозяйственные ландшафты с участками на разных стадиях восстановления растительности. В частности, не до конца изучен процесс депонирования и аккумуляции углерода в агроэкосистемах после прекращения активного пользования такими участками [11].

Ранняя индикация и диагностика многочисленных процессов в почве, включая самовосстановление, можно осуществлять по кислотно-основным свойствам, гумусовому состоянию, а также различным формам железа, алюминия и марганца. Органическое вещество почвы содержит основную массу азота, являющегося одним из основных источников роста и развития растений, который не может быть полноценно заменен техническим азотом без риска ухудшения состояния окружающей среды и качества продукции. Поддержание определенного уровня обеспеченности почвы потенциально минерализуемым углеродом является важным условием включения содержащегося в почве минерального азота во внутрисочвенный иммобилизационно-реминерализационный оборот [3].

Актуальность исследований по данному направлению определяется тем, что оценка современных трендов развития процессов почвообразования в антропогенно-преобразованных почвах при зарастании их растительностью позволит прогнозировать изменение их свойств в течение длительного периода и предложить производству адаптированные к конкретным почвенно-климатическим условиям технологии освоения вынужденной залежи для каждого этапа их зарастания и элемента агроландшафта [1], [4], [7], [14]. Земельный участок – понятие территориально-обобщенное, т.к. в состав одного участка – объекта, имеющего свою топографию и пространственные характеристики, как правило, включены почвы с различными свойствами и режимами. Поэтому на основании данных о земле, а не о почвах, невозможно проектировать и создавать рациональные природоохранные системы землепользования и мелиорации, а также адаптивно-ландшафтные системы земледелия в сельском хозяйстве. Эффективны и безопасны они будут только в случае учета строения почвенного покрова территорий и его неоднородности [4], [14].

В Ленинградской области площадь земель сельскохозяйственного назначения на 1 января 2021 года составляет 1701,3 тыс. га, не используется в активном сельхозобороте – 123,1 тыс. га (34,22% от пахотных земель региона).

В связи с этим необходимо понимание степени деградации или восстановления почвенного плодородия на участках сельскохозяйственных земель выведенных из активного пользования [5], [6].

Целью проведённого исследования было изучение трансформации в почвенном комплексе на постагроденных землях на склонах плакорной возвышенности.

## 2. Материалы и методы

Исследуемыми объектами являлись участки бывшей пашни на юго-западе Ленинградской области (Россия), в Гатчинском районе (59.297666, 30.157424). Участок расположен на плакорной выположенной возвышенности в ландшафте Оредежского плато Лужско-Оредежского ландшафта и имеет два выраженных склона, почвы супесчано-суглинистого гранулометрического состава, подстилаемых красноцветными моренными валунными суглинками.

Данные почвы занимают в районе исследования около 40% земель сельскохозяйственного назначения и лесного фонда [19]. Почвообразующими породами являются преимущественно моренные отложения, покрывающие коренные породы плащом до 4-6 м толщиной и в ней встречаются обломки известняка, которые почти не влияют на почвообразование в условиях нормального увлажнения, но обуславливают жёсткость грунтовых вод, являются причиной сильной насыщенности основаниями почв понижений. Моренные суглинки до глубины 50 см сильно перемыты ледниковыми водами, поэтому их гранулометрический состав в верхней части лёгкий и почвы на моренных буграх имеют двучленный профиль, будучи в верхней части сложены перемытыми пылеватыми лёгкими суглинками, а в нижней части – значительно более связными красноцветными моренными суглинками. Мощность моренных суглинков неодинакова и уменьшается к подножью склона.

Схема опыта представлена на рис. 1, участки отбора почвенных проб (ПП) располагались по северо-западному (ПП 1, 2, 3) и юго-восточному склону плакорной возвышенности (ПП 4, 5, 6, 7). Выбор точек отбора почвенных образцов связан с экспозицией выраженных склонов обследуемого участка.



Рис. 1 – Схема опыта на залежном участке плакорной возвышенности, Гатчинский район, Ленинградская область

Мониторинг участка залежных земель начат в вегетационный сезон 2018 года. Данные агрохимического состояния залежных почв на период начала обследования данного участка представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели содержания гумуса, рН и общего азота постагроденной почвы по склоновым элементам плакорной возвышенности (2018 г)

Место отбора образца по склону плакорного рельефа	Почвенный горизонт, см	*рН <sub>КС1</sub>	*Гумус С, %	*N <sub>общ</sub> , %
северо-западный склон				
№1 верхняя часть	0-20	4,0-4,2	4,2-3,7	0,28-0,25
	20-40	4,1-4,30	1,7-1,5	0,11-0,10
№2 средняя часть	0-20	5,7-6,1	4,8-4,5	0,35-0,33
	20-40	4,6-5,3	4,6-4,3	0,33-0,31
№3 нижняя часть	0-20	5,5-6,2	4,5-4,3	0,33-0,31
	20-40	5,1-6,2	3,4-3,2	0,25-0,23

Окончание таблицы 1 – Показатели содержания гумуса, pH и общего азота постагрогенной почвы по склоновым элементам плакорной возвышенности (2018 г)

Место отбора образца по склону плакорного рельефа	Почвенный горизонт, См	*pH <sub>KCl</sub>	*Гумус С, %	*N <sub>общ</sub> , %
юго-восточный склон				
№4 верхняя часть	0-20	4,0-4,1	3,0-2,4	0,20-0,16
	20-40	4,0-4,2	1,6-1,1	0,11-0,07
№5 средняя часть	0-20	6,0-4,0	6,4-2,2	0,47-0,16
	20-40	4,2-4,1	1,5-0,8	0,11-0,06
№6 средняя часть	0-20	4,03-4,2	2,7-2,2	0,20-0,16
	20-40	4,4-4,2	1,2-1,9	0,09-0,14
№7 нижняя часть	0-20	6,0-5,8	5,7-5,0	0,38-0,33
	20-40	5,0-6,0	3,9-3,6	0,26-0,24

Примечание: \* – первая цифра относится к пробам, взятым в начале вегетационного сезона (май); вторая цифра относится к пробам, взятым в конце вегетационного сезона (сентябрь)

После прекращения выращивания сельхозпроизводителем пропашных культур исследуемый участок использовался для выращивания многолетних трав и сенокосения. Периодически подвергался весенним палам, что сдерживало зарастание древесно-кустарниковой растительностью и поддерживало рудерально-луговую стадию. На слабоволнистом водораздельном участке с лугово-кустарниковой стадией восстановления после снятия хозяйственной нагрузки через 20 лет и прекращения сенокосения многолетних трав наблюдается восстановление естественной древесной растительности – ивы кустарниковой и древовидной берёзы, осины и местами сосны. Древесно-кустарниковая мелколиственная растительность имеет куртинный характер расположения по площади. Среди видов живого напочвенного покрова доминируют злаковые. Для Мятлика лугового (*Poa pratensis*) характерно уменьшение в проективном покрытии к нижней части склонового рельефа, а для Костреца (*Bromus*) и Лисохвоста (*Alopecurus*) наблюдается стабильное присутствие в проективном покрытии на данных залежных землях. Представители семейства бобовых – Горошек мышиный (*Vicia cracca*), Клевер ползучий (*Trifolium repens*), Клевер луговой (*Trifolium pratense*) и Чина луговая (*Lathyrus pratensis*) представлены или единичными экземплярами или их присутствие в проективном покрытии не более 10-15%. Другие виды, характерные для луговой растительности, составляют 5-20% от общего проективного покрытия живого напочвенного покрова: Одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*), Зверобой пятнистый (*Hypericum maculatum*), Фиалка трехцветная (*Viola tricolor*), Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), Нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare*), Розовый осот (*Cirsium arvense*), Василек луговой (*Centaurea jacea*), Кукушкин цвет обыкновенный (*Lychnis flosculi*). Характерные для лесной растительности виды: Марьянник дубравный (*Melampyrum nemorosum*), Ситник нитевидный (*Juncus filiformis*), Дудник лесной (*Angelica sylvestris*). Они тяготеют к нижней части склона примыкающего к стене лесного массива. Вследствие обильного разрастания травянистой растительности возобновление Берёзы повислой (*Betula pendula*) и Осины обыкновенной (*Populus tremula*) сдерживается и носит групповой или куртинный характер. По всей обследованной площади наблюдается возобновление кустарниковой ивы различных видов: Ивы остролистной (*Salix acutifolia*), Ивы пятичичиной (*Salix pentandra*), Ивы трехчичиной (*Salix triandra*), Ивы козьей (*Salix caprea*) и др. Данные кустарники приурочены к понижениям рельефа и сгруппированы в куртины.

Распределение растительных видов находится в тесной взаимосвязи с мощностью дернового горизонта. Виды, образующие большее проективное покрытие, находятся в нижней части склонового рельефа залежного земельного участка, где мощность дернины 5-8 см, а постагрозёмного горизонта 29-36 см.

Согласно методике выполнения работ по программе мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, для определения агрохимических показателей почвы были отобраны образцы почвы с глубины слоя 0-20 см и 20-40 см в вегетационный период 2022 года [12], [13]. Почвенные прикопки закладывались в наиболее характерных местах обследуемой территории, исключая участки с не типичными элементами микрорельефа и признаками нарушения почв. Проводилась оценка ряда физико-химических показателей почв по общепринятым в почвоведении методикам: определялся гранулометрический состав [8]. Плотность сложения всех горизонтов оценивалась по Качинскому. Определение подвижных форм фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калия (K<sub>2</sub>O) производилось по методу А.Т. Кирсанова. Определение обменного марганца и алюминия методами ЦИНАО (ГОСТ 26486-85 и ГОСТ 26485-85). Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена (ГОСТ 27821-880). Общий азот по методу Кьельдаля. pH солевой вытяжки определялся потенциометрическим методом. Определение органического вещества производилось по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91). В методической литературе содержание подвижных форм фосфора и калия приводится в миллиграммах на 1 кг почвы в слое от 0 до 40 см как наиболее полно испытывающих как антропогенное воздействие, так и постагрозенную трансформацию [12], [13]. Полученные данные эмпирического материала подвергались обработке на ПК с использованием методики расчета в программной среде StatSoft STATISTICA 10. Результаты исследований систематизировали в виде таблиц Microsoft Excel, и на основании полученных данных проводился сравнительный анализ.

### 3. Результаты и обсуждение

По реакции среды (рН) почвы исследуемый постагрогенный участок плакорной возвышенности имеет большую вариабельность от верхней части к низу рассматриваемых склонов (рис. 2). От верхней части плакорной возвышенности показатель рН<sub>KCl</sub> с очень сильнокислой реакцией увеличивается до нейтральной по почвенным горизонтам. Показатели рН<sub>KCl</sub> почвы имеют достоверное различие по срокам вегетации и весной они выше чем осенью.

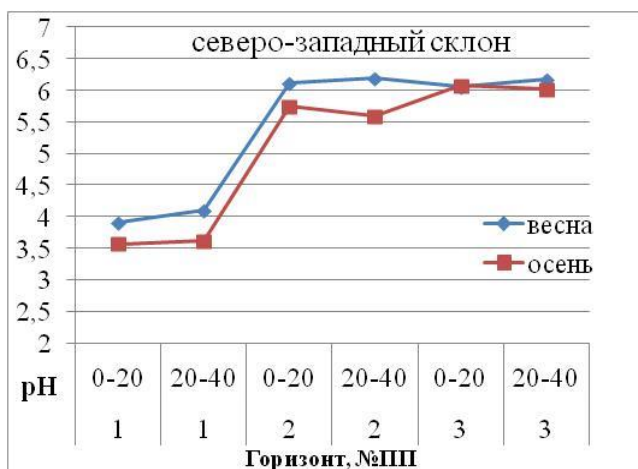


Рис. 2 – Динамика рН<sub>KCl</sub> по почвенным горизонтам в течение вегетационного сезона по склонам постагрогенного участка

Почвы в нижних частях склона характеризуется снижением кислотности с рН<sub>KCl</sub> ~ 3,5-4 до рН ~ 5,5-6,1, что свидетельствует о близком залегании карбонатного слоя и подпитки верхних слоёв почвы жёсткими водами. Это сразу же сказывается на накоплении гумуса в почве с 1,6-1,8 % до 6,5- 8,8 % в горизонте 0-20 см и с 0,8-0,9 % до 5,1-5,4 % и на глубине 20-40 см (рис. 3). Накопление органического вещества на данном участке постагрогенных земель тесно связано с долей травянистых злаковых видов в проективном покрытии почвы как основного участника дернового процесса. Выше отмечалось, что наибольшее проективное покрытие и обилие видов наблюдается в средней и нижних частях склонов. Можно наблюдать достоверное увеличение гумуса органического вещества к осени относительно весеннего содержания его в почве, особенно на глубине 0-20 см.

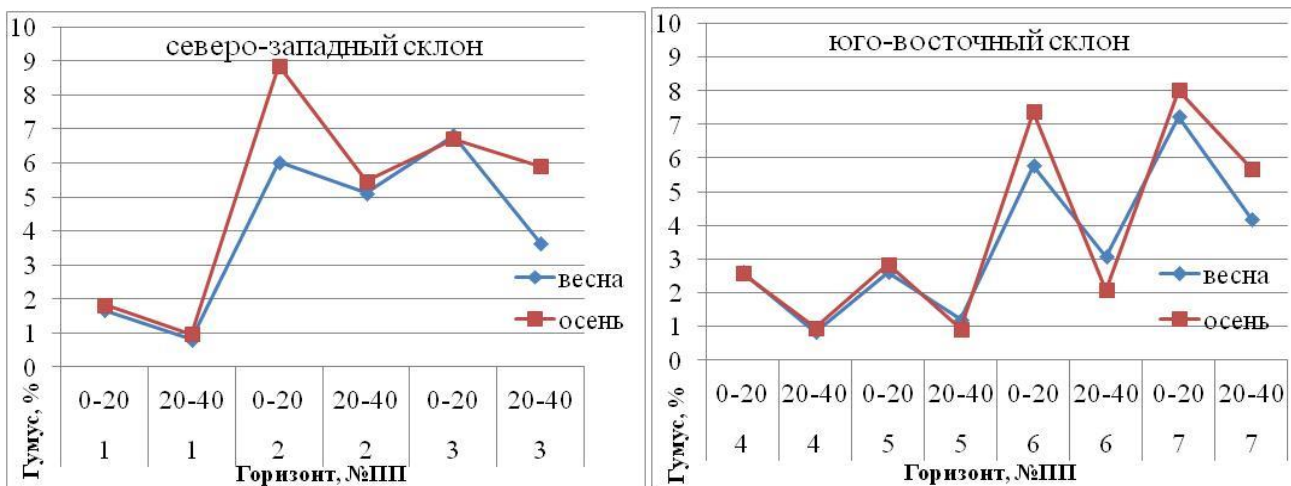


Рис. 3 – Динамика накопление гумуса по почвенным горизонтам за вегетационный сезон по склонам постагрогенного участка

Превращение азотсодержащих соединений по пути минерализации или иммобилизации полностью определяется соотношением азота и углерода органического вещества в почве. Повышение содержания углерода в корнеобитаемом слое почвы в ходе сукцессии имеет главной причиной, по-видимому, увеличение поступления органического вещества с надземным и подземным опадом от растительности. Отношение С:N, которое характеризует обогащенность гумуса азотом для большинства агрозёмных горизонтов данных почв составляет от 2,8-9,7, что отвечает высокой степени обеспеченности этим элементом. На рис. 4 пробы сгруппированы как противоположнолежащие на верхней (ПП №1 и №4), средней (№2 и №5) и нижней (№3, №6, №7) части склона. Очень высокое соотношение (18-20) свойственно бедным азотом грубогумусным горизонтам лесных почв. Наличие такого соотношения С:N свидетельствует о высокой активности почвенных микроорганизмов и является доказательством высокого потенциального плодородия почв на этих участках.

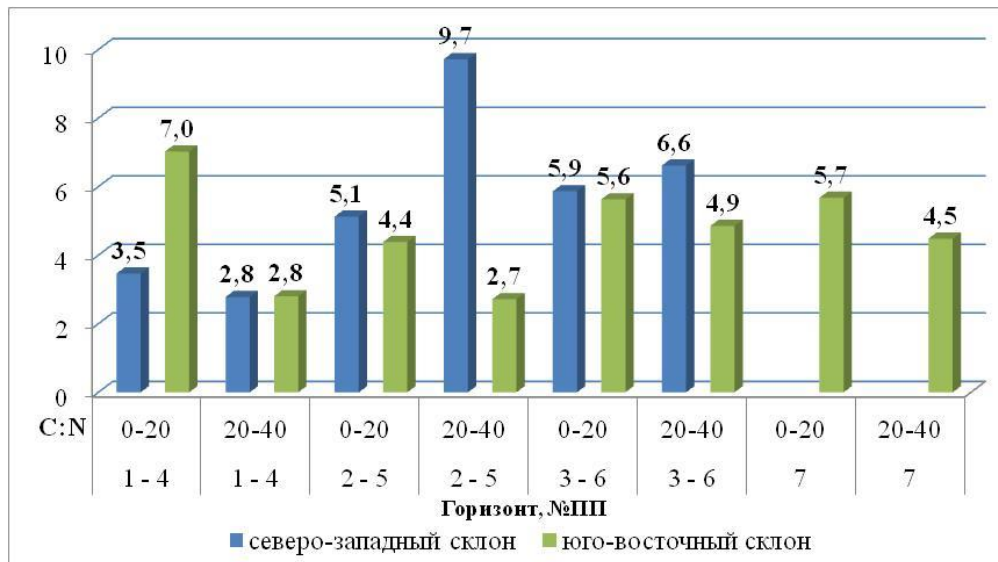


Рис. 4 – Соотношение углерода и азота (C:N) в постагрогенной почве по горизонтам на склонах плакорной выположенной возвышенности

Кислотность и содержание гумуса в верхних слоях почвы являются общими информационными показателями при оценке почв на постагрогенных землях. Вторичные травяные сообщества (залежи 15-20 и более лет) характеризуются высоким запасом подземной фитомассы травяного яруса что, несомненно, вносит существенный вклад в образование и накопление углерода [3], [10], [17], [21].

В ряде ранее проведённых исследований рассматривался вопрос реградации или накопления залежными почвами наиболее значимых для почвенного плодородия элементов минерального питания растений в различных районах региона исследования [8], [9], [18]. Отмечается разновариантность изменений агрохимического состояния постагрогенных почв в зависимости от гранулометрического состава и предыдущего пользования, а также от режима внесения минеральных, органических удобрений на разных фонах применения известкования [9], [10], [18], [20].

Рассматривая динамику режима обменных калия и фосфора за вегетационный период можно видеть, что содержание  $K_2O$  от верхней части юго-восточного склона плакорного уменьшается к нижней части участка. В целом она находится на уровне средней обеспеченности 80-120 мг/кг. Однако показатели для бывшей пахотной части горизонта 20-40 см выше, чем для верхнего горизонта постагрогенных почв. Почвы северо-западного склона менее обеспечены обменным калием, однако здесь наблюдается более высокое его содержание в верхнем горизонте (0-20 см). При сравнении динамики накопления  $K_2O$  за вегетационный период можно чётко выделить различный характер по склоновым частям (рис. 5). На ЮВ склоне происходит убытие содержания элемента, а на СЗ склоне его накопление в нижнем горизонте результате миграции из верхнего слоя почвы. Это вероятно связано, как с использованием доступного калия травянистыми видами и древесно-кустарниковой растительностью, и в то же время с геохимическим стоком вниз по профилю склонов.

По обеспеченности фосфором ( $P_2O_5$ ) почвы на ЮВ склоне могут быть отнесены к оптимальным по его содержанию (рис. 5). Отмечено его убывание в верхних горизонтах почвы, по сравнению с подстилающими слоями в нижней части склона к концу вегетационного сезона. На СЗ склоне более ярко выражена тенденция убывания содержания обменного фосфора по профилю склона в низ. Однако к концу вегетации его содержание в почве имеет тенденцию большей аккумуляции, чем на другом склоне.

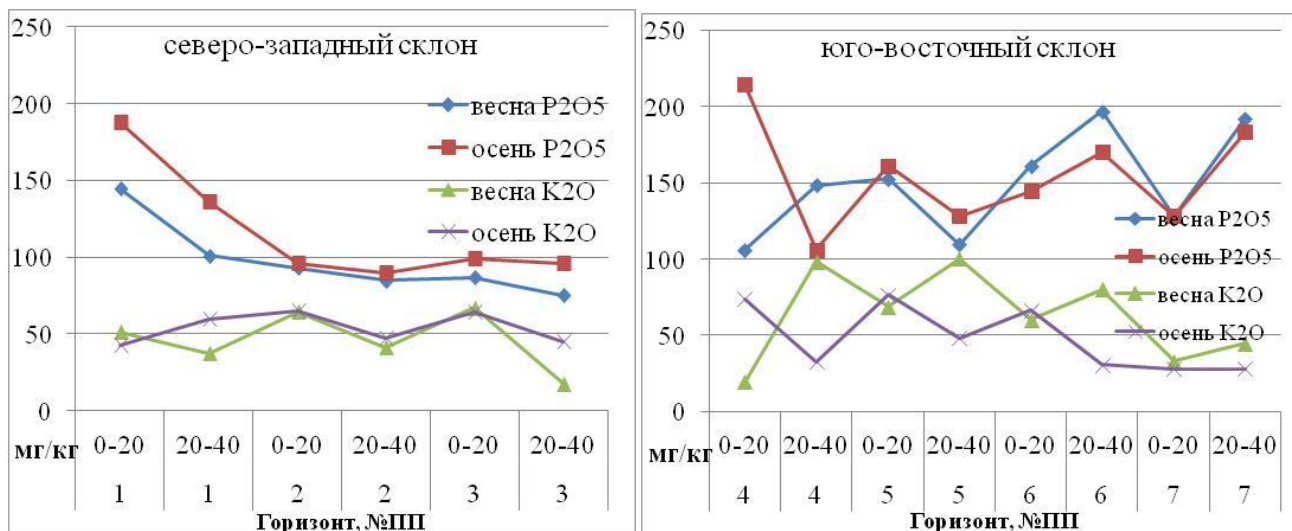


Рис. 5 – Динамика подвижных форм фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O$ ) по почвенным горизонтам в течение вегетационного сезона по склонам постагрогенного участка

Рассматривая влияние плакорного рельефа на миграцию подвижных форм калия за период вегетации в зависимости от изменения реакции почвенного раствора можно отметить, что с понижением рельефа увеличивается как содержание подвижных форм калия, так уровень кислотности почвы. Это связано как с миграцией форм калия по почвенному профилю, так и с гранулометрическим составом почв. В верхней части плакора почвенный профиль имеет переходный тип от супеси до суглинка с валунчиками и каменистыми хрящами на подстилающей супеси суглинистой морене. Далее идёт утяжеление гранулометрического состава и в средней части склона уже фиксируется лёгкий суглинок, а ниже суглинок с большим содержанием физической глины, чем в почве, лежащей выше по склону. Для подвижного фосфора эта тенденция менее выражена.

Неоднородность почвенного покрова исследуемых типов почв является причиной изменения содержания подвижных фосфора и калия.

Величина почвенного поглощающего комплекса в различных почвах зависит от гранулометрического состава, минералогического состава и от содержания гумуса. Полученные результаты по величине суммы обменных оснований по почвенному профилю на плакорной возвышенности показали, что почвенное плодородие сильно варьирует по склоновому рельефу (см. таб. 2). В целом можно отметить, что к высокой градации почвенного плодородия (20-40 мг-экв/100 г почвы) можно отнести участки почвы в нижней и средней части склонового рельефа, т.к. чем выше сумма обменных оснований, тем почва считается плодороднее.

Таблица 2 – Агрохимических показателей постагрогенной почвы по склоновым элементам плакорной возвышенности (2022 г)

Место отбора образца по склону плакорного рельефа	Почвенный горизонт, см	pH <sub>KCl</sub>	Алюминий подвижный, мг/100г	Марганец подвижный, мг/кг	Железо подвижное (вытяжка 1н KCl), мг/кг	Сумма обменных оснований, мг-экв/100г)
северо-западный склон						
№1 верхняя часть	0-20	3,9	13,446	66,6	<1,0	<0,2
	20-40	3,9	13,689	46,3	<1,0	<0,2
№2 средняя часть	0-20	6,0	0,378	12,4	<1,0	33,0
	20-40	6,0	0,081	3,06	<1,0	19,5
№3 нижняя часть	0-20	3,8	17,712	32,8	<1,0	<0,2
	20-40	4,0	12,042	39,1	<1,0	<0,2
юго-восточный склон						
№4 верхняя часть	0-20	6,0	0,189	13,1	<1,0	26,0
	20-40	4,2	8,397	10,7	<1,0	<0,2
№5 средняя часть	0-20	4,3	1,566	82,0	<1,0	<0,2
	20-40	3,9	14,418	38,3	<1,0	<0,2
№6 средняя часть	0-20	5,9	0,162	11,7	<1,0	29,5
	20-40	5,8	0,081	5,59	<1,0	22,5
№7 нижняя часть	0-20	5,5	0,297	3,13	<1,0	29,5
	20-40	5,4	0,162	4,67	<1,0	33,5

На сельскохозяйственных землях выведенных из активного пользования после начала восстановления растительности начинает происходить трансформация строения профиля и морфологии почвы и превалировать естественные процессы почвообразования. В бореальной зоне данный процесс проявляется наиболее интенсивно, учитывая критический характер земледелия. На данном этапе восстановления естественной растительности на плакорном участке в почвах не наблюдается интенсивного выноса железа, алюминия и марганца из пахотного слоя почвы в нижележащий горизонт. Повышенное содержание марганца в верхней части (0-20 см) бывшего пахотного горизонта свидетельствует о том, что травянистые и древесно-кустарниковые растения аккумулируют марганец, попавший в почву в результате разложения опавших листьев и корневых остатков.

В ландшафтах транзитного или аккумулятивного типа в зоне избыточного увлажнения на дерново-подзолистых почвах соединения железа и алюминия накапливаются в большем количестве, когда хуже общие условия дренированности местности.

Для выяснения вклада органического вещества на агрохимические показатели почвы был проведён факторный дисперсионный анализ полученных данных за вегетационный период. Для проведения дисперсионного анализа по фактору гумуса, данные были разделены на 4 группы с градацией показателя гумуса в 2%, (результаты представлены в табл. 3). На подвижные формы фосфора и калия достоверных различий от содержания гумуса в почвенных горизонтах не было получено, т.к. по ним нет разницы в дисперсиях между анализируемыми группами данных. Вероятно, гранулометрический состав почвы в значительной степени определяет содержание данных элементов по склону, чем гумусированность почвенных горизонтов.

Таблица 3 – Дисперсионный анализ влияния фактора содержания гумуса на агрохимические показатели постагрогенных почв

Зависимые переменные	Сумма квадр.	Ст. св. эффекта	Ср. квадр. эффекта	Сум. квадр. ошибки	Ст. св. ошибки	Ср. квадр. ошибки	$F_{расч}$	$p$ -value
pH <sub>KCl</sub>	8,351	3	2,78	3,98	10	0,39	6,98	0,008
Азот общий, %	0,467	3	0,15	0,03	10	0,003	51,37	0,000
Алюминий подвижный мг/100г	297,07	3	99,02	323,43	10	32,34	3,06	0,077
Марганец подвижный, мг/кг	2392,82	3	2392,82	5881,41	10	490,12	4,88	0,047
Сумма обменных оснований, мг-экв/100г	1463,86	3	487,95	1337,39	10	133,74	3,64	0,052

Проведённый анализ модели показал, что наиболее значимая взаимосвязь содержания гумуса наблюдается с величиной общего азота (скорректированный коэффициент детерминации составляет 92%), в почвенных постагрогенных горизонтах на уровень pH – 58 % от суммы всех влияющих факторов, подвижного алюминия – 32 % и суммы обменных оснований – 38 % от всех возможных влияющих показателей.

Переход в естественное природное состояние бывшего агроценоза прекратил интенсивный вынос и отчуждение питательных элементов из почвы. Минеральные вещества, усвоенные растениями и другими живыми организмами, возвращаются в почву и обеднения почвенного комплекса не происходит и устанавливается относительное равновесие, характерное для разных местоположений склонового рельефа плакорной возвышенности.

#### 4. Заключение

Подводя итоги проведённого сравнительного анализа физического и агрохимического состояния постагрогенных земель различного срока залежности можно отметить, что, не смотря на предшествующее антропогенное воздействие, агрозёмный горизонт сохраняет высокое содержание органического вещества и общего азота. Влияния склоновых форм рельефа на подвижные формы калия и фосфора в почвенном комплексе бывшего пахотного горизонта носит сезонный характер – для подвижного фосфора наблюдается тенденция увеличения к концу вегетационного периода, а у подвижного калия снижение его содержания в толще бывшей пахотной почвы.

Проведённый факторный анализ показал, что на постагрогенных почвах влияние гумусированности бывшего пахотного горизонта, наблюдается сильный вклад количества гумуса на содержание алюминия, уровень кислотности почвы и сумму обменных оснований.

Бывший пахотный горизонт постагрогенных почв по классам степени гумусированности для Северо-Западного региона может быть отнесён к среднегумусированным и сильногумусированным [15].

Относительно используемых в активном обороте сельскохозяйственных земель постагрогенные почвы в незначительной степени утратили (биологическая минерализация) трансформируемое органическое вещество.

Подкисление постагрогенных почв на исследуемом участке в силу промывного режима имеет место на верхней части плакорной возвышенности.

Неоднородность и пестрота напочвенного покрова исследуемых типов почв и геохимическая миграция является причиной изменения содержания подвижных фосфора и калия. Содержание данных элементов в целом не ниже средних показателей для окультуренных почв региона.

Раннюю индикацию и диагностику многочисленных процессов в почве, включая самовосстановление, можно осуществлять по кислотно-основным свойствам, гумусовому состоянию, а также различным формам железа, алюминия и марганца и рассматривая изменения за вегетационный период можно судить о трансформациях в почвенном комплексе постагрогенного участка.

Критического ухудшения свойств постагрогенных почв на исследуемом участке не происходит и на данном этапе залежности и трансформации в сторону природных лесных почв региона не наблюдается.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### References

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / Под ред. акад. Г. А. Романенко. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 64 с.
2. Артемьева З. С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы / З. С. Артемьева. – М. : ГЕОС, 2010. – 240 с.
3. Баева Ю. И. Содержание углерода в залежных почвах различных природно-климатических зон европейской части России / Ю. И. Баева, И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню и др. // Ноосфера. – 2017. – № 1. – С. 128-142.



4. Волков С. Н. Землеустроительное обеспечение вовлечения в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения / С. Н. Волков, Е. В. Черкашина, С. А. Липски // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 3 (387). – С. 220-225. – DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_3\_220
5. Доклад о состоянии и использовании земель в Ленинградской области в 2018 году / Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Ленинградской области. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/upload/11.07.2019/ДОКЛАД%202018.docx> (дата обращения: 01.11.2022).
6. Доклад о состоянии и использовании земель в Ленинградской области в 2020 году / Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Ленинградской области. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/upload/Комиссия%20по%20рассмотрению%20споров/2021/П.3%20ДОКЛАД%202020.docx> (дата обращения: 01.11.2022).
7. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 404 с. – URL: <https://mcs.gov.ru/upload/iblock/fb1/fb12ab74bc70b5091b0533f44a4d8dba.pdf> (дата обращения: 01.11.2022).
8. Кудеяров В. Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России / В. Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2019. – № 12. – С. 3-15. – DOI: 10.1134/S000218811912007X
9. Литвинович А. В. Изучение показателей почвенного плодородия окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы на разных стадиях формирования природных экосистем / А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, А. В. Лаврищев и др. // Агрохимия. – 2022. – № 6. – С. 14-27. – DOI: 10.31857/S0002188122060084
10. Люри Д. И. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д. И. Люри, С. В. Горячкин, Н. А. Караваева и др. – М. : ГЕОС, 2010. – 416 с.
11. Мазиров И. М. Почвенные потоки углекислого газа в агроэкосистемах в условиях Московского региона / И. М. Мазиров, Б. Н. Боротов, П. С. Лакеев и др. // Земледелие. – 2015. – № 8. – С. 17-19.
12. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.
13. Минеев В. Г. Агрохимия / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, Г. П. Гамзиков и др. – М. : Изд. ВНИИА им. Д. Н. Прянишникова, 2017. – 854 с
14. Папаскири Т. В. Геохимические исследования агроландшафтов с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур / Т. В. Папаскири, Л. И. Бойценюк, М. А. Хрусталева и др. // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 3 (387). – С. 226-230. – DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_3\_226
15. Рекомендации по интегрированному применению минеральных удобрений в системах земледелия с учетом региональных особенностей производства сельскохозяйственной продукции в Российской Федерации / ВНИИ Агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2019. – 174 с. – URL: [https://ruzaregion.ru/files/ekonomika\\_rajona/selskoe\\_hozyajstvo/rekomendacii\\_komissiya\\_rspp\\_po\\_proizvodstvu\\_i\\_rynku\\_mineralnyh\\_udobrenij.docx](https://ruzaregion.ru/files/ekonomika_rajona/selskoe_hozyajstvo/rekomendacii_komissiya_rspp_po_proizvodstvu_i_rynku_mineralnyh_udobrenij.docx) (дата обращения: 01.11.2022).
16. Рыбакова А. Н. Оценка показателей плодородия постагрогенных почв залежей при различном использовании / А. Н. Рыбакова, О. А. Сорокина // Плодородие. – 2013. – № 3 (72). – С. 31-33.
17. Телесниня В. М. Особенности морфологии и химических свойств постагрогенных почв южной тайги на легких отложениях (Костромская область) / В. М. Телесниня, И. Е. Ваганов, А. А. Карлсен, и др. // Почвоведение. – 2016. – № 1. – С. 115-129. – DOI: 10.7868/S0032180X16010111
18. Чернов Д. В. Содержание и запасы валового азота в дерновоподзолистых суглинистых почвах при постагрогенной трансформации / Д. В. Чернов, М. В. Васильев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 23. – С. 83-89.
19. Чертов О. Г. Экология лесных земель: (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний) / О. Г. Чертов. – Л. : Наука, 1981. – 169 с.
20. Moreno F. Long-term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active Ca-CO<sub>3</sub> / F. Moreno, J. M. Murillo, F. Pelegrín et al. // Soil and Tillage Research. – 2006. – Vol. 85. – P. 86-93. – DOI: 10.1016/j.still.2004.12.001
21. Navalikhin S. V. Vegetation restoration and organic matter accumulation on former agricultural lands in the boreal zone of Russia / S. V. Navalikhin, D. A. Danilov, A. A. Vaiman et al. // BIO Web of Conferences. – 2020. – Vol. 27(1). – P. 1-5. – DOI: 10.1051/bioconf/20202700126

#### References in English

1. Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaistvennogo oborota [Agro-ecological state and prospects for the use of lands in Russia that are no longer in active agricultural use] / edited by G. A. Romanenko – Moscow : FGNU Rosinformagroteh, 2008. – 64 p [in Russian]
2. Artem'eva Z. S. Organicheskoe veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy [Organic substance and granulometric system of soil] / Z. S. Artem'eva. – Moscow: GEOS, 2010. – 240 p. [in Russian]
3. Baeva Yu. I. Soderzhanie ugleroda v zaleznykh pochvakh razlichnykh prirodno-klimaticheskikh zonevpejskoi chasti Rossii [Carbon content in fallow soils of different natural and climatic zones of the European part of Russia] / Yu. I. Baeva, I.N. Kurganova, V. O. Lopes de Gerenyu et al. // Noosfera [Noosphere]. – 2017. – № 1. – P. 128-142 [in Russian]
4. Volkov S. N. Zemleustroitel'noe obespechenie vovlecheniya v oborot neispol'zuemykh zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya [Land management support for the involvement in the turnover of unused agricultural land] / S. N. Volkov, E. V. Cherkashina, S. A. Lipski // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]. – 2022. – № 3 (387). – P. 220-225. – DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_3\_220 [in Russian]

5. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Leningradskoi oblasti v 2018 godu [Report on the condition and use of land in the Leningrad region in 2018] / Upravlenie Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi registratsii, kadastra i kartografii po Leningradskoi oblasti [Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Leningrad Region]. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/upload/11.07.2019/ДОКЛАД%202018.docx> (accessed: 01.11.2022) [in Russian]

6. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Leningradskoi oblasti v 2020 godu [Report on the condition and use of land in the Leningrad region in 2020] / Upravlenie Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi registratsii, kadastra i kartografii po Leningradskoi oblasti [Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Leningrad Region]. – URL:

<https://rosreestr.gov.ru/upload/Комиссия%20по%20рассмотрению%20споров/2021/П.3%20ДОКЛАД%202020.docx> (accessed: 01.11.2022) [in Russian]

7. Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu [Report on the state and use of agricultural land of the Russian Federation in 2019]. – Moscow : FGBNU Rosinformagrotech – 404 p. – URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/fb1/fb12ab74bc70b5091b0533f44a4d8dba.pdf> (accessed: 01.11.2022) [in Russian]

8. Kudeyarov V. N. Agrogeokhimicheskie tsikly ugleroda i azota v sovremennom zemledelii Rossii [Agrogeochemical cycles of carbon and nitrogen in modern agriculture in Russia] / V. N. Kudeyarov // Agrokhimiya [Agrochemistry]. – 2019. – № 12. – P. 3-15. – DOI: 10.1134/S000218811912007X [in Russian]

9. Litvinovich A. V. Izuchenie pokazatelei pochvennogo plodorodiya okulturennoi dernovo-podzolistoi peschanoi pochvy na raznykh stadiyakh formirovaniya prirodnykh ehkosistem [Study of soil fertility indicators of cultivated sod-podzolic sandy soil at different stages of formation of natural ecosystems] / A. V. Litvinovich, O. Yu. Pavlova, A. V. Lavrishchev et al. // Agrokhimiya [Agrochemistry]. 2022. – № 6. – P. 14-27. – DOI: 10.31857/S0002188122060084 [in Russian]

10. Lyuri D. I. Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v KHKH veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv [Agricultural land dynamics in Russia in the twentieth century and post-agrogenic recovery of vegetation and soils] / D. I. Lyuri, S. V. Goryachkin, N. A. Karavaeva et. al. – Moscow : GEOS, 2010. – 416 p. [in Russian]

11. Mazirov I. M. Pochvennye potoki uglekislogo gaza v agroehkosistemakh v usloviyakh Moskovskogo regiona [Soil carbon dioxide flows in agroecosystems under conditions of the Moscow region] / I. M. Mazirov, B. N. Borotov, P. S. Lakeev et al. // Zemledelie [Agriculture]. – 2015. – № 8. – P. 17-19. [in Russian]

12. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya [Methodological guidelines for comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural land] / edited by L. M. Derzhavin, D. S. Bulgakov. – Moscow: FGNU Rosinformagroteh, 2003, – 240 p. [in Russian]

13. Mineev V. G. Agrokhimiya [Agrochemistry] / V. G. Mineev, V. G. Sychev, G. P. Gamzikov et al. – Moscow: D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute, 2017. – 854 p. [in Russian]

14. Papaskiri T. V. Geokhimicheskie issledovaniya agrolandshtov s tsel'yu povysheniya urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Geochemical studies of agrolandscapes to improve crop yields] / T. V. Papaskiri, L. I. Boitsenyuk, M. A. Khrustaleva et al. // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal [International Agricultural Journal]. – 2022. – № 3 (387). – P. 226-230. – DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_3\_226 [in Russian]

15. Rekomendatsii po integrirovannomu primeniyu mineral'nykh udobrenii v sistemakh zemledeliya s ucheto regional'nykh osobennostei proizvodstva sel'skokhozyaistvennoi produktsii v Rossiiskoi Federatsii [Recommendations on the integrated use of mineral fertilizers in cropping systems, taking into account regional characteristics of agricultural production in the Russian Federation] / VNI Agrokhemii imeni D. N. Pryanishnikova [All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov], 2019. – URL: [https://ruzaregion.ru/files/ekonomika\\_rajona/selskoe\\_hozyajstvo/rekomendacii\\_komissiya\\_rspp\\_po\\_proizvodstvu\\_i\\_rynkuminalnykh\\_udobrenij.docx](https://ruzaregion.ru/files/ekonomika_rajona/selskoe_hozyajstvo/rekomendacii_komissiya_rspp_po_proizvodstvu_i_rynkuminalnykh_udobrenij.docx) (accessed: 01.11.2022) [in Russian]

16. Rybakova A. N. Otsenka pokazatelei plodorodiya postagrogennykh pochv zalezhei pri razlichnom ispol'zovanii [Assessment of fertility indicators of post-agrogenic fallow soils under different uses] / A. N. Rybakova, O. A. Sorokina // Plodorodie [Fertility]. – 2013. – № 3 (72). – P. 31-33 [in Russian]

17. Telesnina V. M. Osobennosti morfologii i khimicheskikh svoystv postagrogennykh pochv yuzhnoi taigi na legkikh otlozheniyakh (Kostromskaya oblast') [Peculiarities of morphology and chemical properties of postagrogenic soils of southern taiga on light sediments (Kostroma region)] / V. M. Telesnina, I. E. Vaganov, A. A. Karlsen et al. // Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]. – 2016. – № 1. – P. 115-129. – DOI: 10.7868/S0032180X16010111 [in Russian]

18. Chernov D. V. Soderzhanie i zapasy valovogo azota v dernovopodzolistykh suglinistykh pochvakh pri postagrogennoi transformatsii [Content and stocks of gross nitrogen in sod-podzolic loamy soils during post-agrogen transformation] / D. V. Chernov, M. V. Vasil'ev // Izvestia Sankt-Petersburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the St. Petersburg State Agrarian University]. – 2011. – № 23. – P. 83-89. [in Russian]

19. Chertov O. G. Ehkologiya lesnykh zemel': (pochvenno-ehkologicheskoe issle dovanie lesnykh mestoobitanii) [Ecology of Forest Lands: (Soil and Ecological Study of Forest Habitats)] / O. G. Chertov. – Leningrad : Nauka, 1981. – 169 p. [in Russian]

20. Moreno F. Long-term impact of conservation tillage on stratification ratio of soil organic carbon and loss of total and active Ca-CO<sub>3</sub> / F. Moreno, J. M. Murillo, F. Pelegrín et al. // Soil and Tillage Research. – 2006. – Vol. 85. – P. 86-93. – DOI: 10.1016/j.still.2004.12.001

21. Navalikhin S. V. Vegetation restoration and organic matter accumulation on former agricultural lands in the boreal zone of Russia / S. V. Navalikhin, D. A. Danilov, A. A. Vaiman et al. // BIO Web of Conferences. – 2020. – Vol. 27(1). – P. 1-5. – DOI: 10.1051/bioconf/2020270012