

некоторых районах вновь появились почвы с очень низкой обеспеченностью обменным калием.

По результатам 8-, 9- и 10-го циклов агрохимического обследования прослеживается процесс ухудшения калийного режима почв, особенно пахотных, по сравнению с предыдущим циклом. Наблюдаются уменьшение доли высокообеспеченных калием групп и увеличение доли средне- и низкообеспеченных групп пахотных земель, что обусловлено, по видимому, резким снижением количества применяемых удобрений и выносом калия с урожаями культур. При этом площади низкообеспеченных обменным калием пахотных почв увеличились до 14,7 тыс. га по сравнению с 2,8 тыс. га в 7-м цикле.

**Выводы.** Плодородие почв сельскохозяйственных угодий, в том числе обеспеченность их обменным калием, зависит от рационального применения органических и минеральных удобрений. Если их не вносить, то эффективное плодородие земель будет снижаться, что может стать причиной недополучения высоких урожаев выращиваемых сельскохозяйственных культур.

*Литература*

1. Минеев В.Г. Химизация земледелия и природная среда. - М.: Агропромиздат, 1990. - 287 с. 2. Важеннин И.Г. Методы определения калия в почве. Агрохимические методы исследования почв. - М.: Наука, 1965. - С. 128-164. 3. Сычев В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания «доступного» калия // Агрохимический вестник. - 2000. - №5. - С. 30-34. 4. Милащенко Н.З. Состояние плодородия почв России и меры по стабилизации производства зерна // Химия в сельском хозяйстве. - 1996. - №5. - С. 3-8. 5. Кцоев Б.К. Состояние плодородия почв Центрального Предкавказья // Состояние и перспективы развития сельского хозяйства в горах и предгорьях РФ. - Владикавказ, 2001. - С. 278-291. 6. Дзанагов С.Х. Эффективность удобрений в севообороте и плодородие почв. - Владикавказ, 1999. - 364 с. 7. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. - М.: Росинформагротех, 2003. - 240 с. 8. Джанаев Г.Г. Почвы и удобрения в Северной Осетии. - Орджоникидзе, 1970. - 474 с. 9. Дзайнуков С.Б. Изменение плодородия почв и задачи по научному использованию результатов агрохимического обследования земель // Пути повышения плодородия почв. - Орджоникидзе, 1982. - С. 41-46. 10. Сокаев К.Е. Эколого-агрохимическая оценка почв Предгорий Центрального Кавказа при их длительном сельскохозяйственном использовании и применении удобрений: Автореферат дис. докт. с.-х. наук. - Владикавказ, 2011. - 51 с.

## POTASSIUM STATUS OF AGRICULTURAL SOILS IN THE NORTH OSSETIA-ALANIA

K.E. Sokaev, V.V. Bestaev, Severo-Osetinskaya Station of Agrochemical Service, ul. Sadonskaya 36, Vladikavkaz, 362013 Republic of North Ossetia-Alania, Russia e-mail: [agrohim\\_15@mail.ru](mailto:agrohim_15@mail.ru)

Potassium, along with nitrogen and phosphorus, is a deficient nutrient of plants. Plants mainly uptake potassium from the soil via their root system. Therefore, permanent observations of potassium content in agricultural soils followed by the regulation of plant nutrition by the application of potassium fertilizers at adequate rates are necessary to obtain high yields of agricultural crops. Studies have been conducted on ten reference plots located in different soil-climatic zones of the republic and during the total agrochemical survey of agricultural soils. Analysis of soil samples taken on the reference plots showed that alkaline soils (medium-deep leached chernozem, dark chestnut soil, slightly leached chernozem, calcareous meadow soil, slightly leached meadow soil) contain higher contents of total potassium; acidic soils (podzolized gray forest, slightly podzolized soddy, and other soils) contain less potassium. The highest content of exchangeable potassium in calcareous chernozem and dark chestnut soil depends on weather conditions, and its lowest content is found in podzolized gray soil. The total agrochemical survey of agricultural soils has been operated since 1965, and ten survey cycles have been performed. It is found that 58.6% of plowland had a high content of exchangeable potassium after the first survey cycle (1965–1968), compared to 44.1% of plowland after the second cycle because of the insignificant application of fertilizers and the removal of potassium with crops. Beginning from the third survey cycle (1973–1977), the content of potassium in soils increased, and its elevated, high, and very high contents were found in 92.8% of the plowlands surveyed, which is due to the significant increase in the application of organomineral fertilizers. However, since the late 1990s, the content of potassium in arable soils decreased again to 70.7% in 2012. This can be related to no application of organic fertilizers and the significant decrease in the amount of applied mineral fertilizers. In perennial plantations, a decrease in the area of soils with high potassium supply is observed due to the gradual eradication of orchards on soils with low potassium supply. On haylands and pastures, the content of potassium in soils does not vary significantly.

Keywords: soil type, agricultural lands, plowland, perennial plantations, haylands, pastures, total potassium, exchangeable potassium, fertilizers.

УДК 631.452 : 631.461

## НИТРИФИКАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ УДМУРТИИ

В.И. Макаров, к.с.-х.н., Ижевская ГСХА

Показано, что в исследованиях, проведенных на базе двух сельскохозяйственных предприятий Удмуртии, нитрификационная способность дерново-подзолистых почв варьирует от 8,2 до 26,8 мг N-NO<sub>3</sub>/кг. Выявлена достоверная корреляционная связь нитрификационной способности почв с содержанием в них гумуса ( $r=0,56-0,87$ ), обменного аммония ( $r=0,74$ ) и калия ( $r=0,46$ ), урожайностью ячменя ( $r=0,33$ ). Отмечено, что на процессы нитрификации существенно влияет кислотность почв. При  $pH_{KCl} < 4,0$  происходит сильное снижение нитрификационной способности почв при одновременной аккумуляции аммонийного азота в них.

**Ключевые слова:** нитрификация, нитрификационная способность почв, аммонийный азот, кислотность почв, гумус, дерново-подзолистые почвы, ячмень.

Разрабатываемые модели плодородия почв предполагают определение совокупности агрономически значимых свойств почв, коррелирующих с планируемой продуктивностью сельскохозяйственных культур [1-3]. Наиболее сложным оказалась разработка методов определения подвижных форм азота в почве и почвенной диагностики питания растений этим макроэлементом. Валовая форма азота, содержание которого в дерново-подзолистых почвах составляет 0,13-0,20 % [1, 4], характеризуют лишь потенциальное плодородие и не позволяет оценивать обеспеченность растений усвояемым азотом [2, 4, 5]. Разработано множество методов определения подвижных форм азота, различающихся по принципам анализа,

которые можно разделить на две группы: химические и биологические. Имеется мнение, что доступность растениям почвенного азота не может быть определена с помощью методов, которые основываются на термодинамических законах химии [6]. Только аммонификация и нитрификация позволяют этот биогенный элемент переводить в доступную для питания сельскохозяйственных культур форму [7]. Однако интенсивность этих биохимических процессов в значительной степени зависит от условий функционирования микроорганизмов, свойств почвы и погодных условий [1, 8], используемой агротехники [9-11]. Тем не менее, данное направление наиболее перспективно для оценки запасов подвижных форм азота в почве при планировании продуктивности агроценозов. Проблема заключается в том, что невозможно аналитически определить интенсивность аммонификации в почве, так как образующийся аммоний активно используется в различных биохимических процессах, главным образом в нитрификации. По этой причине именно способность почв накапливать нитраты в процессе компостирования корнеобитаемых сред следует использовать для оценки содержания подвижных форм азота в них.

**Методика.** Изучение агроэкологической оценки почв, в том числе их нитрификационной способности, проводили в 2014-2015 гг. В учхозе «Июльское» ИжГСХА Воткинского района Удмуртской Республики для исследований выбрали производственные посевы ячменя площадью 120 га. Опытный

участок расположен на увале и представлен в основном дерново-подзолистыми почвами на красно-бурых опесчаненных суглинках. Почвенный покров склона увала юго-западной экспозиции (крутизной 5-7°) подвержен эрозионным процессам средней интенсивности, а остальная территория – слабой. На основе рекогносцировочных исследований выделили 24 ключевые площадки размером 10 м × 10 м. Технология возделывания ярового ячменя сорта Сонет минимальная при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{45}P_{10}K_{10}$ . Перед уборкой ячменя провели отбор сноповых образцов культуры для определения биологической урожайности и почвенных проб с пахотного (0-20 см) слоя для выполнения агрохимических анализов. В 2014 г. сложились благоприятные погодные условия для роста и развития ячменя (ГТК=1,12). В 2015 г. исследования были продолжены в ООО «Экоферма «Дубровский» Киясовского района Удмуртской Республики. Нитрификационную способность почв изучали в рамках очередного агрохимического обследования земель этого сельскохозяйственного предприятия на площади 6191 га. Пахотные угодья представлены преимущественно дерново-подзолистыми почвами различного гранулометрического состава. Кроме того, имеются небольшие площади серых лесных, дерново-карбонатных, аллювиально-перегнойных почв. Более половины исследованных пахотных земель представлены залежью или старовозрастными многолетними травами, остальные – посевами озимой ржи и яровых зерновых культур.

Отбор почвенных проб осуществляли в июле-августе. Нитрификационную способность почв определяли по методу Кравкова при 7-дневном компостировании в собственной модификации [12, 13]. Остальные агрохимические анализы проводили по стандартным методикам для почв таежно-лесной зоны [14]. Был выполнен корреляционно-регрессионный анализ нитрификационной способности с другими показателями плодородия почв.

**Результаты и их обсуждение.** Выявлено, что плодородие пахотных угодий АО «Учхоз Июльское ИжГСХА» характеризуется сильной невыравненностью. Так, биологическая урожайность ячменя на первой ключевой площадке составила 2,55, седьмой – 6,48 т/га. Наблюдается существенная вариация как по нитрификационной способности почв, так и по другим исследованным агрохимическим показателям. Диапазон значений нитрификационной способности на исследованном пахотном угодье составил от 8,2 до 26,8 мгN-NO<sub>3</sub>/кг. Причиной этого является комплекс факторов, связанных как с ландшафтной характеристикой земель, так и с сельскохозяйственным использованием данных почв. Наиболее низкая нитрификационная способность установлена на среднеродированных дерново-подзолистых почвах, расположенных на юго-западном склоне. Усредненная по 12 ключевым площадкам величина показателя составила 14,9±1,6 мгN-NO<sub>3</sub>/кг (V=17,4). В то же время на слабоэродированном северо-восточном склоне нитрификационная способность была выше – 20,8±2,2 мгN-NO<sub>3</sub>/кг при коэффициенте вариации 16,3 %.

Регрессионно-корреляционная связь нитрификационной способности с другими показателями плодородия почв приведена в таблице 1. Установлена достоверная корреляционная связь нитрификационной способности почв с содержанием гумуса ( $r=0,56$ ), обменного калия ( $r=0,46$ ), урожайностью ячменя ( $r=0,33$ ).

Содержание подвижного фосфора в почве не влияло на ее способность накапливать нитраты, так как диапазон концентраций этого макроэлемента в почве находился на оптимальном уровне. В то же время, фактические значения  $pH_{\text{кол}}$  входили во все шесть групп общепринятой классификации по кислотности почв [14]. Однако при этом не выявлено достоверной связи кислотно-щелочного состояния почв с их нитрификационной способностью. Известно, что высокая кислотность среды замедляет нитрификационные процессы [7], поэтому можно прогнозировать достоверную зависимость между этими показателями. Оптимальный pH среды для развития нитрифицирующих бактерий составляет 7,0-8,0 ед. [15].

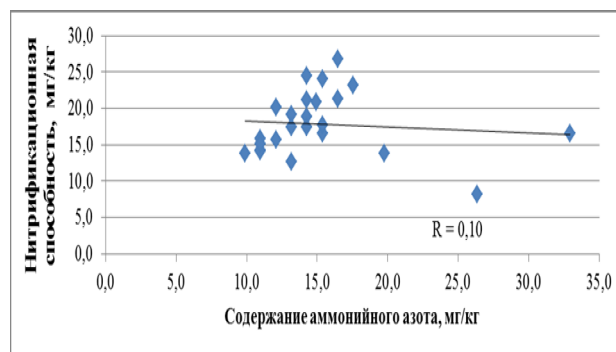
**1. Связь нитрификационной способности почв (y, мг N-NO<sub>3</sub>/кг) с агрохимическими показателями их плодородия (x) (ОАО «Учхоз Июльское ИжГСХА», 2014)**

Агрохимический показатель (x)	Диапазон значений показателя	Коэффициент корреляция (r)	Уравнение регрессии
Урожайность ячменя, т/га	2,55-6,48	0,33	$y = 1,2298x + 12,764$
$pH_{\text{кол}}$ , ед.	3,80-6,74	0,30	Не рассчитывается
Содержание подвижного фосфора, мг/кг	86-460	0,19	То же
Содержание обменного калия, мг/кг	50-354	0,46	$y = 0,0339x + 13,019$
Содержание гумуса, %	1,33-2,97	0,56	$y = 5,6215x + 6,3382$
Содержание нитратного азота, мг/кг	0,4-1,9	0,21	Не рассчитывается
Содержание обменного аммонийного азота, мг/кг	9,9-33,0* 9,9-16,5	-0,10 0,74	Не рассчитывается $y = 1,3676x - 0,0593$

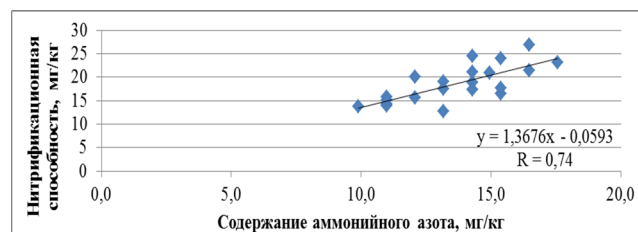
*Примечание.* В числителе полная выборка (n=24); в знаменателе – исключены из выборки данные с  $pH_{\text{KCl}} < 4,0$  ед. (n=21).

Кроме того, не выявлено достоверной связи нитрификационной способности почв и с содержанием аммонийного азота в них при проведении стандартного корреляционно-регрессионного анализа ( $r=0,10$ ) (рис. 1). Это нелогично, так как известно, что запасы аммония в почве являются в первую очередь источником для нитрификации. Однако замечено, что три значения выборки выбиваются из характерной закономерности связи этих двух показателей. Оказалось, что все эти точки соответствуют  $pH_{\text{KCl}}$  менее 4,0 ед.

Установлено, что на очень сильноокислых дерново-подзолистых почвах происходит аккумуляция аммония. Исключив из выборки данные с  $pH_{\text{KCl}}$  менее 4,0 ед., выявили сильную корреляционную связь между нитрификационной способностью почв и содержанием аммонийного азота ( $r=0,74$ ).



**А**



**Б**

Рис. 1. Связь нитрификационной способности почв (мгN-NO<sub>3</sub>/кг) с содержанием обменного аммония (мгN-NH<sub>4</sub>/кг) в почве:

А - полная выборка; Б - исключены из выборки данные с  $pH_{\text{KCl}}$  менее 4,0 ед.

Таким образом, кислотность дерново-подзолистых почв, с одной стороны, влияет на накопление аммония в почве, с другой, – на интенсивность нитрификации этого аммония. Была проведена оценка интенсивности нитрификации аммо-

ния в дерново-подзолистых почвах с учетом их кислотно-щелочных свойств (табл. 2).

## 2. Влияние кислотности дерново-подзолистых почв на интенсивность нитрификации аммонийного азота

рН <sub>KCl</sub>	Число выборок	Содержание обменного аммония, мгN-NH <sub>4</sub> /кг	Нитрификационная способность	
			мгN-NO <sub>3</sub> /кг	% от обменного N-NH <sub>4</sub>
<4,0	3	26,4	12,8	48
4,1-4,5	3	13,9	17,0	122
4,6-5,0	7	15,1	20,4	135
5,1-5,5	7	11,9	16,5	139
5,6-6,0	2	15,4	22,9	149
>6,1	2	12,4	17,3	140

Установлено, что содержание аммонийного азота в почвах при рН<sub>KCl</sub> менее 4,0 ед. составляло 26,4 мг/кг. Причина этого в угнетении нитрификационных процессов в условиях избыточной кислотности. Известно, что при такой кислотности почв происходит аккумуляция в них подвижного алюминия в концентрациях, ингибирующих деятельность нитрифицирующих бактерий [16-18]. В то же время, даже в сильноокислой среде (при рН<sub>KCl</sub> 4,1-4,5) существенно снижается содержание аммонийного азота в дерново-подзолистых почвах при одновременном усилении их нитрификационной способности. Для оценки благоприятности условий для прохождения процессов нитрификации была рассчитана доля обменного аммония, использованная в нитрификации. В очень сильноокислой почве только 48 % обменного аммония нитрифицировалось за недельный период компостирования в оптимальных для нитрифицирующих бактерий по температуре и увлажненности почвы условиях. Однако, уже при рН<sub>KCl</sub> 4,1-4,5 микроорганизмы для нитрификации используют не только первоначальный запас аммония в почве, но и легкогидролизуемые фракция почвенного азота. Наиболее благоприятные условия для нитрификации в дерново-подзолистых почвах складываются при рН<sub>KCl</sub> 5,6-6,0.

Близкие результаты получены и в исследованиях, проведенных в ООО «Экоферма «Дубровский». Выявлено, что между рН<sub>сол.</sub> и нитрификационной способностью наблюдается средней тесноты корреляционная связь –  $r=0,59$  при выборке 45. Наиболее высокая нитрификационная способность установлена для нейтральных почв – 18,4 мг/кг. В основном они представлены серыми лесными почвами. На дерново-подзолистых почвах при рН<sub>сол.</sub> 5,6-6,0 усредненная нитрификационная способность составила 14,4 мг/кг, а при рН 5,1-5,5 – снизилась до 11,4 мг/кг.

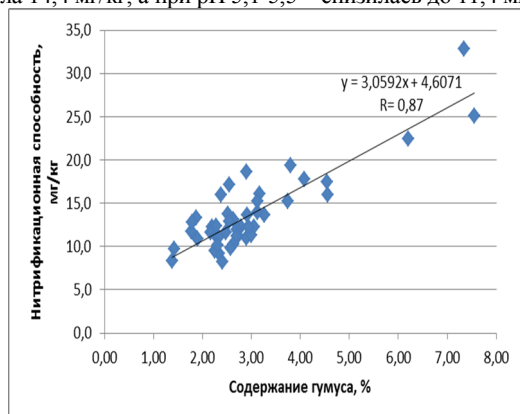


Рис. 2. Связь нитрификационной способности почв (мгN-NO<sub>3</sub>/кг) с содержанием гумуса (ООО «Экоферма «Дубровское», 2015)

Кроме того, как и в предыдущих исследованиях выявлена тесная корреляционная связь нитрификационной способности почв с содержанием гумуса в них ( $r=0,87$ ) (рис. 2).

На это указывали и другие исследователи. Так Н.Л. Малютина [19] отмечала, что в оптимальных условиях увлажнения нитрификационная способность почвы является функцией содержания гумуса и валового азота.

**Заключение.** Таким образом, нитрификационная способность дерново-подзолистых почв варьирует от 8,2 до 26,8 мгN-NO<sub>3</sub>/кг. Наиболее высокая корреляционная связь нитрификационной способности почв с содержанием в них гумуса ( $r=0,56-0,87$ ) и обменного аммония ( $R=0,74$ ). На процессы нитрификации существенно влияет кислотность почв. При рН<sub>KCl</sub> менее 4,0 ед. происходит сильное снижение нитрификационной способности почв при одновременной аккумуляции аммонийного азота в них.

### Литература

1. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2004. – 490 с.
2. Баиков А.С. Повышение эффективности удобрений на дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2015. – 328 с.
3. Холзаков В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: монография. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2006. – 436 с.
4. Пискунов А.С. Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье. – Пермь, 1994. – 168 с.
5. Kresović M., Ličina V. Estimation of soil nitrogen availability // Journal of Agricultural Sciences. – Vol. 48. – No 1. – 2003. – pp. 21-38.
6. Орлов Д.С. Химия почв / Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова, Н. И. Суханова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 527 с.
7. Шлегель Г. Общая микробиология / Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 567 с.
8. Camberato James J. Nitrogen In Soil And Fertilizers // SC Turfgrass Foundation News, January-March. – 2001. – Vol. 8. – No 1. – pp. 6-10.
9. Шишкина Г.М., Макаров В.И. Запас минерального азота в почве и его динамика при выращивании яровой пшеницы в зависимости от предшественников // Материалы Всероссийской научно-практ. конф. – Ижевск: ИжГСХА, 2007. – С. 53-58.
10. Цыганова Н.А. Изменение азотного состояния подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании // Agro XXI. – 2007. – № 1-3. – С. 44-46.
11. Janušauskaitė D., Arlauskienė A., Maikštėnienė S. Soil mineral nitrogen and microbial parameters as influenced by catch crops and straw management // Zemdirbyste-Agriculture. – Vol. 100. – No 1 (2013). – pp. 9-18.
12. Пат. 2537240 С1 Российская Федерация МКП G01N 33/24 (2006.01). Лабораторный способ определения нитрификационной способности почвы / Макаров В.И.; заявитель и патентообладатель Ижевская ГСХА; опубл. 27.12.2014. Бюл. № 36. – 4 с.
13. Макаров В.И. Усовершенствование методики определения нитрификационной способности почвы по методу Кравкова // Вестник Алтайского ГАУ. – 2015. – № 5. – С.43-47.
14. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: Росинформагротех, 2003. – 240 с.
15. Xue Bai, Haixin Gu, Yulong Li. Coimmobilized Microalgae and Nitrifying Bacteria for Ammonium Removal // International Journal of Environmental Science and Development. – Vol. 7. – No. 6. – June 2016. – pp. 406-409.
16. Карпова А.Ю., Баиков А.С., Бортник Т.Ю., Исупов А.Н., Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Влияние различных систем удобрения на мобилизацию подвижного алюминия в дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Пермского НИИСХ: Т. 1. – Пермь, 2013. – С. 249-258.
17. Макаров В.И., Иванов А.Н., Юскин А.А. Агроэкологическая оценка почв СПК «Дружба» Дебесского района Удмуртской Республики // Материалы Всероссийской научно-практической конференции 17-20 февраля 2015 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2015. – Т.1. – С. 71-75.
18. Jakovljević M., Kresović M., Blagojević S., Antić-mladenović S. Some negative chemical properties of acid soils // J. Serb. Chem. Soc. – 2005. – 70 (5). – 765-774.
19. Малютина Н.Л. Планирование урожайности сахарной свеклы на основе расчета доз минеральных удобрений в условиях неустойчивого увлажнения Краснодарского края / Дисс. на соискание канд. ... с.-х. наук, Рамонь, 2006. – 20 с.

## NITRIFICATION CAPACITY OF SOILS OF UDMURTIA

V.I. Makarov, Izhevsk State Agricultural Academy, ul. Studencheskaya 11, Izhevsk, 426069 Udmurt Republic, Russia E-mail: makaroffVI@yandex.ru

The research was carried out in 2014–2015 on the basis of two agricultural enterprises in Udmurtia. Nitrification capacity of soddy-podzolic soils varies from 8.2 to 26.8 mg N-NO<sub>3</sub>/kg. Reliable correlations were revealed between the soil nitrification capacity and the contents of humus ( $R=0.56-0.87$ ), exchangeable ammonium ( $R=0.74$ ), and potassium ( $R=0.46$ ) and the yield of barley ( $R=0.33$ ). Soil acidity strongly affects the nitrification processes. When pH<sub>KCl</sub> is lower than 4.0, the nitrification capacity of soils at the simultaneous accumulation of ammonium nitrogen is strongly reduced.

Keywords: nitrification, nitrification capacity of soils, ammonium nitrogen, soil acidity, humus, soddy-podzolic soils, barley.