

# АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.461.4:631.421.2

В.И. Макаров  
V.I. Makarov

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИТРИФИКАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ ПО МЕТОДУ КРАВКОВА

### IMPROVING THE TECHNIQUE OF SOIL NITRIFICATION CAPACITY EVALUATION BY KRAVKOV METHOD

**Ключевые слова:** нитраты, нитрификация, нитрификационная способность почвы, лабораторный метод, влажность, температура, аэрация, термостат, дерново-подзолистая почва, послеспиртовая зерновая барда.

Известно несколько методов и модификаций определения нитрификационной способности почв. Однако существуют определенные проблемы по использованию этих методов в массовых анализах. Недостатком является несовершенство режима аэрации образцов при компостировании. Возможно ухудшение условий для нитрификации из-за ограниченного объема воздуха в колбе. Выполнены теоретические расчеты интенсивности воздухообмена для соблюдения аэробных условий в образце при компостировании. В условиях очень высокой биологической активности почв расход кислорода на окисление органического вещества составляет более 36,5 мг O<sub>2</sub>/20 г х сут. При определении нитрификационной способности почв по методике Кравкова концентрация кислорода в образце может снизиться за одни сутки более двух раз. Это может привести к нарушению предусмотренного режима компостирования почв. В анаэробных условиях появляются потери азота в результате денитрификации. Выполнено усовершенствование методики определения нитрификационной способности почв. Принципиальная особенность этого метода заключается в компостировании образца в условиях активной аэрации образцов. Разработан опытный образец термостата для выполнения компостирования одновременно 36 образцов. Отличительной его особенностью является наличие компрессора с расходомером и воздухопроводной сети во внутреннем объеме устройства. Проведена пригодность использования предлагаемого метода определения нитрификационной способности в сравнении со стандартным методом. При небольших добавках легкогидролизуемого органического удобрения достоверного различия в результатах анализа не установлено. С увеличением дозы

агрохимиката наблюдается существенное снижение значения нитрификационной способности почв по методу Кравкова в сравнении с предлагаемым способом.

**Keywords:** nitrates, nitrification, soil nitrification capacity, laboratory method, moisture content, temperature, aeration, thermostat, sod-podzolic soil, grain distillery stillage.

There are several methods and modifications of soil nitrification capacity determination. However, there are certain problems in using those methods for wide-scale tests. The mode of samples aeration during composting is imperfect. The deterioration of nitrification conditions is possible due to the limited air volume in the flask. Theoretical calculations of the intensity of air exchange have been made to meet the aerobic conditions in a sample during composting. At very high biological activity of the soil, oxygen consumption for oxidation of organic matter is more than 36.5 mg O<sub>2</sub> per g per day. When soil nitrification capacity is determined by Kravkov method, the oxygen concentration in the sample may be reduced by more than twice in one day. This may cause a disturbance of the defined regime of soil composting. Under anaerobic conditions nitrogen losses occur as a result of the denitrification. The technique of soil nitrification capacity evaluation has been improved. The principal feature of this method is composting a sample under the conditions of active aeration. A prototype thermostat to compost 36 samples was developed. Its distinctive feature is a compressor with a flow meter and air network in the internal chamber of the device. The suitability of the proposed method of nitrification capacity determination was investigated as compared to the standard method. In case of small additions of readily hydrolyzable organic fertilizer no significant difference in the test results was found. With increasing rates of the agrichemical significant reduction in the values of soil nitrification capacity by Kravkov method is observed as compared to the proposed method.

**Макаров Вячеслав Иванович**, к.с.-х.н., доцент, проф. каф. агрохимии и почвоведения, Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Тел.: (3412) 73-30-77. E-mail: makaroffVI@yandex.ru.

**Makarov Vyacheslav Ivanovich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Prof., Chair of Agro-Chemistry and Soil Science, Izhevsk State Agricultural Academy. Ph.: (3412) 73-30-77. E-mail: makaroffVI@yandex.ru.

Аккумуляция азота в почве является характерным признаком почвообразования, а валовые запасы этого макроэлемента определяют потенциальное плодородие. Одним из основных факторов для создания высоких урожаев сельскохозяйственных культур является наличие в почве необходимого количества усвояемых форм азота. Учеными разработано множество способов определения запасов подвижных форм азотистых веществ в почвах, рекомендованных для целей почвенной диагностики и расчета доз минеральных удобрений. Однако по разным причинам они не получили широкого распространения для производственных целей.

Наиболее востребованным в научных исследованиях является определение нитрификационной способности почв. Этот показатель азотного состояния почв относится к разряду нормируемых при оценке плодородия почв [1]. Следует отметить универсальность метода. Во-первых, он используется для оценки биологической активности различных сред, в частности, при оценке загрязнения территорий [2]. Во-вторых, он предусмотрен к использованию для целей оперативной диагностики азотного питания сельскохозяйственных культур [3].

Учеными разработано несколько методов и модификаций определения нитрификационной способности почв. В настоящее время для производственных целей рекомендован метод Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой, приведенный в издании «Методические указания по определению нитрификационной способности почв» [4]. Однако существуют определенные проблемы по использованию этого метода в массовых анализах. Целью исследований является совершенствование методики определения нитрификационной способности почв.

#### Методика исследований

В Российской Федерации из известных лабораторных способов определения нитрификационной способности почв наибольшую распространенность получил инкубационный метод Кравкова – Ваксмана и несколько его модификаций. Они основаны на продолжительном компостировании образца почвы в оптимальных для развития нитрифицирующих бактерий условиях: увлажнение проб до 50-70% от капиллярной или полной влагоемкости; температура 25-28°C; аэробные условия среды. Изменения режимов компостирования существенно влияют на результат ана-

лиза [5]. Учитывая то, что рекомендуемая продолжительность компостирования составляет по разным модификациям от 7 до 30 сут., появилась проблема строгого соблюдения оптимальных условий для развития нитрифицирующих бактерий.

В ранних методиках предусматривалось выдерживание в термостате увлажненных образцов почвы в открытых стаканах или в колбах, закрытых ватным тампоном [6, 7]. Недостатком данных способов является значительное испарение влаги из образца почвы в процессе компостирования, из-за чего может снизиться влажность почвы ниже допустимого уровня. Рекомендуемое дополнительное периодическое добавление воды в образец может привести к неравномерности увлажнения и возникновению очагов с анаэробными условиями.

В более поздней модификации (метод Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой) рекомендовано компостирование в колбах, закрытых резиновой пробкой [1]. Для поддержания аэробных условий методикой предусмотрено периодическое проветривание образцов через каждые 2-3 сут. Недостатком этого метода является несовершенство режима аэрации проб при компостировании – возможное ухудшение условий для нитрификации (недостатка кислорода) из-за ограниченного объема воздуха в изолированной колбе. По этой причине при определении нитрификационной способности почв необходимо выполнить расчеты интенсивности воздухообмена для соблюдения аэробных условий.

При компостировании образца почвы в ней происходят различные биохимические реакции с участием кислорода. Основным из них является ферментативное окисление органического вещества. Согласно группировке биологической активности почв по интенсивности продуцирования диоксида углерода, очень высоким значением считается величина более 50 мг CO<sub>2</sub>/20 г х сут. [8]. В научной литературе приводятся и более высокие значения дыхания почвы.

Расход кислорода на минерализацию органических соединений зависит от соотношения различных атомов в молекулах. Например, при окислении глюкозы (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) на 1 г образовавшегося CO<sub>2</sub> потребляется 0,73 г O<sub>2</sub>. Следовательно, при очень высокой биологической активности почв расход кислорода составляет более 36,5 мг O<sub>2</sub>/20 г х сут. В приземной атмосфере содержится всего

23,15 массовые доли кислорода, что соответствует 331 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup> воздуха. Таким образом, при определении нитрификационной способности почв первоначальное содержание кислорода в колбе вместимостью 200 мл составляет всего 66,2 мг. При компостировании 20 г почвы, что предусмотрено по методике Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой, даже теоретически парциальное давление кислорода в образце может снизиться более двух раз за одни сутки. Кроме того, в почве происходят и другие процессы, сопровождающиеся потреблением кислорода, в том числе и биологическая нитрификация. Все это может привести к коренному нарушению предусмотренного режима компостирования при определении нитрификационной способности почв. В условиях недостатка кислорода в почве появляются потери азота в виде газообразных соединений, происходящих в результате денитрификации [9]. При этом возможно и анаэробное окисление аммония, получившее название «Апаттох» [10].

#### Результаты исследований

Предлагаемая модификация определения нитрификационной способности почв направлена на снижение погрешности результатов и уменьшение количества технологических операций при выполнении анализа. Принципиальной особенностью метода является то, что компостирование проводится в условиях активной аэрации внутреннего объема закрытой колбы с образцом почвы путем нагнетанием воздуха.

Для проведения анализа был разработан опытный образец термостата для выполнения компостирования одновременно 36 образцов. Отличительной его особенностью является наличие компрессора с расходомером и воздухопроводной сети из резиновых шлангов во внутреннем объеме устройства.

Технология выполнения анализа следующая. Навески пробы почвы 20 г переносят в конические колбы внутренним объемом 100 см<sup>3</sup>. Почва увлажняется дистиллированной водой до влажности 50-70% от капиллярной влагоемкости. После этого колбу закрывают специальной резиновой пробкой с отверстиями для подвода атмосферного воздуха и дренажа газов из внутреннего объема. К колбам с образцами почвы подключают шланги с воздухом под небольшим давлением и устанавливают в термостат при заданной температуре ( $28 \pm 1^\circ C$ ), выдерживая в этих условиях заданное время (7 сут. по методу Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой).

Интенсивность нагнетания воздуха через компрессор контролируется с учетом прохождения биохимических процессов в

почвенных образцах. Для этого дренажный газ отбирается в пробоотборное устройство и на газоанализаторе определяется концентрация кислорода. Контроль состава дренажного газа можно осуществлять и с использованием углекислотного газоанализатора. Такой режим компостирования не приводит и к значительному изменению влажности почвенных проб.

По истечении срока определяют нитраты стандартными методами в прокомпостированной почве и исходной почве, использованной для компостирования. О нитрификационной способности судят по разности между конечным и исходным содержанием нитратов в почвенном образце.

Проведена пригодность применения предлагаемого метода определения нитрификационной способности почвы в сравнении с другими методиками. Испытуемая почва взята с пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы со следующими агрохимическими характеристиками:  $pH_{KCl}$  – 5,37, содержание гумуса – 1,95%, подвижного фосфора – 154 мг/кг и обменного калия – 112. Капиллярная влагоемкость, определенная в лабораторных условиях в подготовленных для компостирования образцах, составила 39,1%. В качестве дополнительного источника азота для процесса нитрификации использовано нетрадиционное органическое удобрение – фугат послеспиртовой зерновой барды с содержанием общего азота 0,15%. Особенностью этого агрохимиката является высокая гидролизуемость, в том числе и азотистых соединений.

После компостирования проб было определено содержание нитратов и рассчитана нитрификационная способность почв (табл.). С использованием методов математической статистики определены доверительный интервал и коэффициент вариации.

Установлено, что при небольших добавках органического удобрения (до 5% от массы почвы) и низких величинах нитрификационной способности почвы достоверного различия в результатах анализа не установлено. Однако с увеличением дозы органического удобрения до 10% наблюдается существенное снижение значения нитрификационной способности почвы по методу Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой в сравнении с предлагаемым способом.

Корреляционно-регрессионным анализом установлено, что при использовании предлагаемого способа между дозами органического удобрения и нитрификационной способностью наблюдается положительная прямолинейная связь ( $r = 0,995$ ), в то время как по стандартному – непрямолинейная (полиномиальная) ( $\mu = 0,989$ ).

**Нитрификационная способность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (n = 4, содержание нитратного азота в исходной почве 6,47 мг/N-NO<sub>3</sub>/кг)**

Способ компостирования	Добавка органического удобрения в образце почвы, %	Нитрификационная способность, мг/N-NO <sub>3</sub> /кг		Коэффициент вариации, %
		среднее, $\bar{x}$	доверительный интервал, $D\bar{x}$	
Предлагаемый метод	0	2,50	0,54	13,5
	1,25	3,93	0,38	6,1
	2,5	8,71	0,47	3,4
	5	19,85	1,60	5,1
	7,5	27,40	2,03	4,7
	10	36,11	2,55	4,4
Метод Кравкова в модификации Болотиной и Абрамовой [4]	0	2,29	0,53	14,6
	1,25	4,30	0,64	9,4
	2,5	8,55	1,22	9,0
	5	19,00	2,62	8,7
	7,5	24,07	1,57	4,1
	10	29,41	2,92	6,2

Таким образом, предлагаемый способ позволяет снизить погрешность лабораторных анализов и уменьшить количество технологических операций при проведении анализа за счет исключения дополнительной аэрации образцов почв в колбах [11].

**Библиографический список**

1. Сборник отраслевых стандартов ОСТ 10 294-2002 – ОСТ 10 297-2002. Показатели состояния плодородия почв по основным природно-сельскохозяйственным зонам Российской Федерации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – 160 с.
2. Макаров В.И. Оценка фито- и биотоксичности зерновой барды // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст.: в 3 кн. / VII Междунар. науч.-практ. конф. (2-3 февраля 2012 г.). – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2012. – Кн. 2. – С. 49-50.
3. Шишкина Г.М., Макаров В.И. Запас минерального азота в почве и его динамика при выращивании яровой пшеницы в зависимости от предшественников // Матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевск: РИО ИжГСХА, 2007. – С. 53-58.
4. Методические указания по определению нитрификационной способности почв. – М.: ВПНО «Сельхозхимия», 1984. – 16 с.
5. Макаров В.И., Шишкина Г.М. Влияние длительности компостирования почвы на аммонификационную способность почв // Матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевск: РИО ИжГСХА, 2006. – С. 148-153.
6. Турчин Ф.В. Методы определения соединений азота в почве // Агротехнические методы исследования почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 57-73.
7. Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почво-

ведению. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 296 с.

8. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. – М.: Колос, 1996. – 387 с.

9. Макаров В.И. Особенности проявления денитрификации в дерново-подзолистых почвах // Наука, инновации и образование в современном АПК: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – Т. 1. – С. 33-35.

10. Strous M., Van Gerven E., Kuenen J.G., Jetten M. Effects of Aerobic and Microaerobic Conditions on Anaerobic Ammonium-Oxidizing (Anammox) Sludge // Appl. Environ. Microbiol. – 1997. – Vol. 63 (6). – R. 2446-2448.

11. Пат. 2537240 С1 Российская Федерация МКП G01N 33/24 (2006.01). Лабораторный способ определения нитрификационной способности почвы / Макаров В.И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – № 2113129190/15; заявл. 25.06.2013; опубл. 27.12.2014, Бюл № 36. – 4 с.

**References**

1. Sbornik otraslevykh standartov OST 10 294-2002 – OST 10 297-2002. Pokazateli sostoyaniya plodorodiya pochv po osnovnym prirodno-sel'skokhozyaistvennym zonam Rossiiskoi Federatsii. – M.: FGNU «Rosinformagrotekh», 2002. – 160 s.
2. Makarov V.I. Otsenka fito- i biotoksichnosti zernovoi bardy // Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaistvu: sbornik statei: v 3 kn. / VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (2-3 fevralya 2012 g.). – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2012. – Kn. 2. – S. 49-50.
3. Shishkina G.M., Makarov V.I. Zapas mineral'nogo azota v pochve i ego dinamika pri vyrashchivaniy yarovoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov // Materialy Vserossiiskoi

nauchno-prakt. konf. – Izhevsk: RIO IzhGSKhA, 2007. – S. 53-58.

4. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu nitrifikatsionnoi sposobnosti pochv. – M.: VPNO «Sel'khozkhimiya», 1984. – 16 s.

5. Makarov V.I., Shishkina G.M. Vliyaniye dli-tel'nosti kompostirovaniya pochvy na ammonifi-katsionnuyu sposobnost' pochv // Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakt. konf. – Izhevsk: RIO IzhGSKhA, 2006. – S. 148-153.

6. Turchin F.V. Metody opredeleniya soedi-nenii azota v pochve // Agrokhimicheskie me-tody issledovaniya pochv. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. – S. 57-73.

7. Aleksandrova L.N., Naidenova O.A. La-boratorno-prakticheskie zanyatiya po poch-vovedeniyu. – L.: Agropromizdat, 1986. – 296 s.

8. Kiryushin V.I. Ekologicheskie osnovy zem-ledeliya. – M.: Kolos, 1996. – 387 s.

9. Makarov V.I. Osobennosti proyavleniya denitrifikatsii v dernovo-podzolistykh pochvakh // Nauka, innovatsii i obrazovanie v sovremen-nom APK. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Tom 1. – Izhevsk: FGBOU VPO Izhevskaya GSKhA, 2014. – S. 33-35.

10. Strous M., Van Gerven E., Kuenen J.G., Jetten M. Effects of Aerobic and Microaerobic Conditions on Anaerobic Ammonium-Oxidizing (Anammox) Sludge // Appl. Environ. Microbi-ol. – 1997. – Vol. 63 (6). – R. 2446-2448.

11. Pat. 2537240 C1 Rossiiskaya Federatsiya MKP G01N 33/24 (2006.01). Laboratornyi sposob opredeleniya nitrifikatsionnoi sposobnos-ti pochvy / Makarov V.I.; zayavitel' i paten-toobladatel' FGBOU VPO Izhevskaya GSKhA. – № 2113129190/15; zayavl. 25.06.2013; opubl. 27.12.2014, Byul № 36. – 4 s.



УДК 631.445.4(571.15)

С.В. Макарычев, А.Г. Болотов, И.А. Гончаров  
S.V. Makarychev, A.G. Bolotov, I.A. Goncharov

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА КОЭФФИЦИЕНТА ВЛАГОПРОВОДНОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО В САДАХ АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ

### THE SEASONAL DYNAMICS OF HYDRAULIC CONDUCTIVITY COEFFICIENT OF LEACHED CHERNOZEM IN THE GARDENS OF THE PRIOBYE (THE OB RIVER AREA) OF THE ALTAI REGION

**Ключевые слова:** чернозем, влажность, ко-эффицент влагопроводности.

Закономерности формирования режима влаж-ности почвы в значительной степени определяются ее гидрофизическими свойствами, которые зави-сят от дисперсности, плотности, температуры почвенных горизонтов. При этом изучение дина-мики коэффициента влагопроводности почвенного профиля в естественных условиях под ягодными культурами и в пару необходимо для оценки воз-действия этих ценозов на влагоперенос в почве. Экспериментальное определение коэффициента влагопроводности с помощью центрифугирования позволило выявить определенные закономерности в режиме влагопереноса в разные по погодным условиям годы исследований (2012-2014 гг.). Летом 2012 г. под ягодными культура-ми формировался неблагоприятный водный ре-жим, при котором коэффициент влагопроводно-сти в первой половине вегетации в пахотном слое не превышал 1 см/сут., в результате чего капил-лярный водоток полностью отсутствовал, и влага находилась преимущественно в виде пленок. Начало вегетации 2013 г. было благоприятным в горизонтах А<sub>п</sub>, АВ и В влагопроводность достига-ла 10 см/сут. на всех вариантах, кроме пара. Но к середине июля растения испытывали дефицит почвенной влаги. Аналогичные измерения во вла-гопереносе наблюдались и в 2014 г. Исследования

показали, что оптимальное увлажнение чернозе-ма под ягодными культурами для гумусово-аккумулятивного и переходного горизонтов соот-ветствует влагопроводности 1,6 см/сут., для ил-лювиального – 0,9, а для почвообразующей по-роды – 0,3 см/сут.

**Keywords:** chernozem, moisture, hydraulic con-ductivity coefficient.

The patterns of soil moisture regime formation are largely determined by soil hydrophysical properties that depend on the dispersion, density and the tem-perature of soil horizons. The study of the hydraulic conductivity coefficient dynamics of the soil profile in natural conditions under berry crops and in a fallow is needed to estimate the effect of these cenosis on moisture transfer in the soil. The experimental deter-mination of the hydraulic conductivity coefficient by centrifugation revealed certain regularities in the re-gime of moisture transfer under different weather conditions of the study years (2012-2014). In the summer of 2012 an unfavorable water regime had formed under berry crops when the hydraulic con-ductivity coefficient during the first half of the grow-ing season in the arable layer was less than 1 cm per day; as the result there was no capillary water flow, and the moisture was mainly in the form of films. The beginning of the growing season in 2013 was favor-able, and in the horizons А<sub>p</sub>, АВ and В the hydraulic