

УДК 631.442:631:445:631.459:631.416.14:631.432.3

**КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АГРОФИЗИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЧВЕННОГО  
КАРТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ**

**Е. В. Балашов, К. Г. Моисеев, Е. Я. Рижия, Л. В. Бойцова,  
В. Д. Гончаров, Е. Г. Зинчук, Н. П. Бучкина**

*ГНУ Агрофизический научно-исследовательский институт Россельхозакадемии,  
Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, 195220*

*E-mail: Eugene\_Balashov@yahoo.co.uk*

*Поступила в редакцию 01 ноября 2013 г., принята к печати 10 декабря 2013 г.*

В связи с необходимостью разработки технологий для рационального и эффективного управления качеством и продуктивностью почв на мелиорированных территориях в ГНУ АФИ Россельхозакадемии разработана система мониторинга агрофизического состояния почв. Представляемая система мониторинга состоит из трёх этапов: 1. расширенное почвенное картографирование; 2. исследования агрофизических свойств почв; 3. исследования прямых эмиссий и внутрпочвенных потоков парниковых газов ( $N_2O$ ,  $CO_2$ ). На первом этапе проводится расширенное картографирование структуры почвенного покрова и совместное профильное исследование генетических и агрофизических свойств почв. На втором этапе осуществляется выявление возможных диапазонов изменений агрофизических свойств корнеобитаемого слоя почвы с известными генетическими свойствами для установления нормативов оптимизации агрофизического состояния почвы для каждого выделенного однородного контура. На третьем этапе выполняют инструментальные исследования динамики прямых эмиссий и внутрпочвенных потоков парниковых газов в почвах с известными генетическими, оптимальными и критическими агрофизическими свойствами корнеобитаемого слоя почвы. Полученные результаты используют для оценки экологической и экономической эффективности мелиоративных и сельскохозяйственных мероприятий в снижении газообразных потерь азота и углерода, с использованием информации об урожаях сельскохозяйственных культур и о взаимосвязях генетических и агрофизических свойств почв с внутрпочвенными потоками и прямыми эмиссиями парниковых газов. Результаты комплексного мониторинга агрофизического состояния почв и эмиссий парниковых газов из почв объединены в зарегистрированные базы данных. Применение системы мониторинга позволит более обоснованно оценить эффективность работы дренажных систем; получить более качественные результаты инвентаризации агрофизического состояния сельскохозяйственных почв; улучшить качество инвентаризации прямых выбросов закиси азота и углекислого газа из сельскохозяйственных почв.

**Ключевые слова:** почвенное картирование, агрофизические свойства почв, мониторинг прямой эмиссии закиси азота и углекислого газа, банки данных.

**ВВЕДЕНИЕ**

Поддержание оптимального агрофизического состояния почв и требуемых урожаев сельскохозяйственной продукции высокого качества является целью эффективных мелиоративных и сельскохозяйственных мероприятий в РФ. В настоящее время применение традиционных и разработка новых систем земледелия на мелиорированных территориях проводятся в соответствии с основными принципами устойчивого земледелия, которые предусматривают сохранение оптимального баланса экологических функций почв: геохимический и биохимический круговорот; распределение влаги; накопление и вынос питательных элементов; буфер-

ная способность; распределение энергии, биологическое разнообразие (De Kimpe, Warkentin, 1998; Fleischhauer, Eger, 1998; Karlen и др., 1997).

Эффективная оценка агрофизического состояния мелиорированных почв, расположенных на обширных территориях, требует проведения регулярных комплексных, междисциплинарных исследований экологических функций почв и тесно связанных с ними почвенных генетических и динамических свойств. К генетическим, устойчивым свойствам почв относят: степень проявления почвообразовательного процесса и гидроморфизма, фракционный и групповой состав гумуса, гранулометрический и минералогиче-

ческий состав, мощность профиля почв. Указанные свойства отражают потенциальную способность почв к функционированию в пределах агроэкосистемы. К динамическим, управляемым свойствам почв относят многочисленные агрохимические, физические, физико-химические и биологические параметры и процессы (Seybold и др., 1999; Arshad, Martin, 2002; Моисеев, 2011, 2012). Динамические свойства почв подлежат стандартизации и нормированию (Моисеев, 1990; Nortcliff, 2002), поскольку они характеризуют плодородие почв и их способность к сопротивлению и восстановлению после антропогенных и природных воздействий. Информацию о генетических свойствах почв необходимо принимать во внимание для установления: (1) возможных пределов изменений динамических свойств, и (2) направленности и скорости почвенных процессов, характеризующих их экологические функции. В системах мониторинга агрофизического состояния почв часто не принимают во внимание необходимость проведения исследований взаимосвязей между генетическими и динамическими свойствами почв, хотя именно эти связи могут быть индикаторами эффективности мелиоративных мероприятий.

Закись азота ( $N_2O$ ) и углекислый газ ( $CO_2$ ) являются парниковыми газами, эмиссии которых подлежат сокращению. Согласно 5-му Национальному Сообщению Российской Федерации (2010 год) вклад сельского хозяйства в общий выброс парниковых газов ( $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ ) в 2007 году составил 6,1%. Относительный вклад  $N_2O$  в общем выбросе парниковых газов (в  $CO_2$ -эквиваленте) в сельскохозяйственном секторе является наибольшим и составил в 2007 году – 68,9%. Вклад прямых и косвенных выбросов  $N_2O$  из сельскохозяйственных земель в 2007 году составил, соответственно, 38,8% и 12,1%.

Наибольшие газообразные потери азота и углерода наблюдаются из переувлажнённых почв в результате микробиологического процесса денитрификации. Поэтому оценка прямых эмиссий  $N_2O$  и  $CO_2$  из почв может служить показателем экологической и экономической эффективности применения дренажных систем на переувлажнённых

территориях. Оптимизация состояния пулов почвенного азота и углерода, снижение прямых и косвенных выбросов парниковых газов из сельскохозяйственных земель достигаются за счёт: (1) мелиоративных мероприятий для управления гидрологическим режимом почв, (2) повышения физической и агрохимической окультуренности почв; (3) увеличения эффективности использования растениями почвенного азота; (4) улучшения технологий внесения азотных и органических удобрений; (5) применения рациональных способов управления агрофизическим состоянием почв с помощью различных способов их обработки.

В Агрофизическом НИИ накоплен большой научный и практический опыт по морфогенетическому и агрофизическому картированию почв (Моисеев и др. 2013), инструментальному изучению прямых эмиссий  $N_2O$  и  $CO_2$  и их внутрпочвенных потоков в сельскохозяйственных почвах (Buchkina и др., 2010, 2012, 2013)

Результаты данных исследований явились основой для разработки в ГНУ АФИ Россельхозакадемии комплексной системы мониторинга агрофизического состояния почв на основе результатов почвенного картографирования и исследования прямой эмиссии парниковых газов.

Представленная система мониторинга может быть использована для оценки экономической эффективности применения мелиоративных мероприятий и агротехнологий для достижения устойчивых и требуемых урожаев сельскохозяйственных культур без неблагоприятного изменения агрофизического состояния почв и экологического состояния окружающей среды в результате эмиссий парниковых газов. Результаты применения системы мониторинга агрофизического состояния почв явились основой для разработки: (1) нормативов оценки оптимизации физических параметров почв; (2) базы данных агрофизического состояния дерново-подзолистых супесчаных почв; (3) базы данных по прямым эмиссиям закиси азота из сельскохозяйственных дерново-подзолистых супесчаных почв; (4) методических рекомендаций по мониторингу эмиссии закиси азота из сельскохозяйственных почв; (5) базы данных почвенного покрова Мень-

ковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова) (Балашов, Моисеев, 2009; Бучкина и др., 2011; Моисеев и др., 2009, 2013).

Потенциальные потребители: научно-исследовательские институты, государственные учреждения, межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), на которые возложены обязанности по сбору, обработке и хранению информации о свойствах почв и о прямых эмиссиях парниковых газов из почв.

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

Система мониторинга агрофизического состояния почв состоит из следующих основных этапов: 1. Морфогенетическое картографирование почв; 2. Мониторинг агрофизических свойств почв; 3. Мониторинг прямых эмиссий и внутрипочвенных потоков парниковых газов; 4. Построение банка данных.

#### **Морфогенетическое картографирование почв**

Крупномасштабные почвенные карты и сопровождающие их картограммы свойств почв используют при проведении мелиоративных и последующих агротехнических мероприятий по повышению плодородия почв, защите почв от водной и ветровой эрозии, осушению территорий, уменьшению выбросов парниковых газов.

В нашем комплексном, усовершенствованном подходе к картографированию почв используются все положительные стороны двух классификаций почв РФ. Первой особенностью наших исследований является профильный подход к анализу структуры почвенного покрова на мелиорированных территориях сельскохозяйственного назначения. Как правило, работы по крупномасштабному картографированию не совмещают с изучением агрофизических свойств почв в генетических горизонтах почвенного профиля, в котором проводили морфометрические и генетические обследования. Поэтому комплексность нашего подхода заключалась в одновременном исследовании морфологических и агрофизических свойств почв. Второй особенностью нашего подхода является организация экологического монито-

ринга корнеобитаемого слоя почв строго в соответствии с выделенными почвенными контурами. В рамках этого подхода оценивали влияние почвообразующих пород, а именно, их генезиса, гранулометрического состава, плотности сложения и гидрофизических свойств на физические процессы, происходящие в корнеобитаемом слое почв. Результаты этих исследований предоставили возможность, во-первых, оценить взаимосвязи между генетическими и агрофизическими свойствами горизонтов почвы в пределах однородного почвенного контура, что потребовало и разработки экспресс методов определения физических свойств почв (Моисеев и др., 2012, Моисеев 2013), и, во-вторых, выявить различия в этих взаимосвязях в почвах, расположенных на нескольких смежных контурах. В конечном итоге, наш подход позволяет оценить экономическую и экологическую эффективность работы дренажных систем на основе результатов анализа изменений морфогенетических и агрофизических параметров мелиорированных почв с использованием традиционного адаптивно-ландшафтного подхода к оценке территорий.

Наши исследования структуры почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии проводили в соответствии с действующей инструкцией по почвенному обследованию и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользователей (1973 г.), методическими рекомендациями Почвенного института им. В. В. Докучаева и с «Классификацией и диагностикой почв России» (Шишов и др., 2004), которая основывается на профильно-генетическом подходе к диагностике основных таксономических единиц.

На рис. 1 представлена крупномасштабная почвенная карта Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии.

Результаты проведенных морфогенетических исследований показали, что почвенный покров, в основном, представлен зональным типом почв – дерново-подзолистыми с разной степенью проявления подзолистого горизонта. Агроземы составляют 59,7% всех угодий и различаются по степени окультуренности. На долю гидроморфных почв приходится до 18% площади территории.

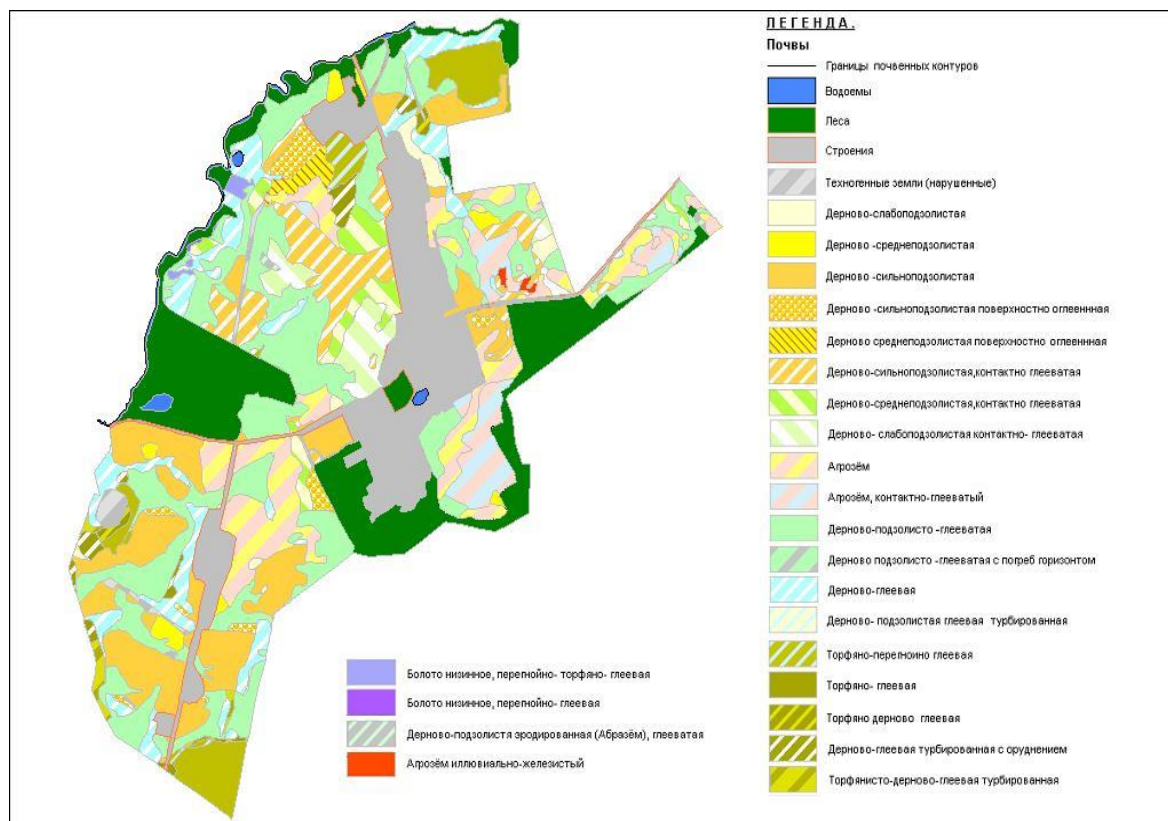


Рис. 1. Карта структуры почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (Гатчинский район, Ленинградская область)

Почвенный покров характеризовался пестротой почвообразующих пород, которые в условиях неоднородного микро- и мезорельефа создают сложные комплексы и сочетания, и, как следствие, различные гидрологические режимы. Согласно результатам агрофизических исследований, выявлено значительное варьирование коэффициентов фильтрации и плотности сложения генетических горизонтов почв.

Следующий этап наших исследований заключался в оценке эффективности дренажных систем на основе анализа результатов морфогенетического картографирования почв. Схема дренажных систем на территории Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии представлена на рис. 2.

Анализ результатов исследований физических и гидрофизических свойств генетических горизонтов почв свидетельствовал об удовлетворительной эффективности систем закрытого и открытого дренажа в осушении территории, поскольку на ней сохранились

крупные ареалы переувлажнённых гидроморфных и полугидроморфных почв.

### Мониторинг агрофизических свойств почв

К наиболее значимым управляемым и динамичным агрофизическим свойствам почвы относятся: наименьшая влагоёмкость, запасы доступной влаги, влажность устойчивого завядания, влагопроводность, фильтрация влаги, температура, теплоёмкость, удельная поверхность, плотность твёрдой фазы, агрегатный состав, объёмная масса, сопротивление пенетрации и общая пористость почв. Задача мониторинга заключалась в выявлении пространственного распределения агрофизических свойств и установление их критических и оптимальных значений. Полевые обследования почв и измерения их свойств проводили согласно требованиям ГОСТ. На рисунке 3 представлено пространственное распределение и диапазоны изменений агрофизических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы.

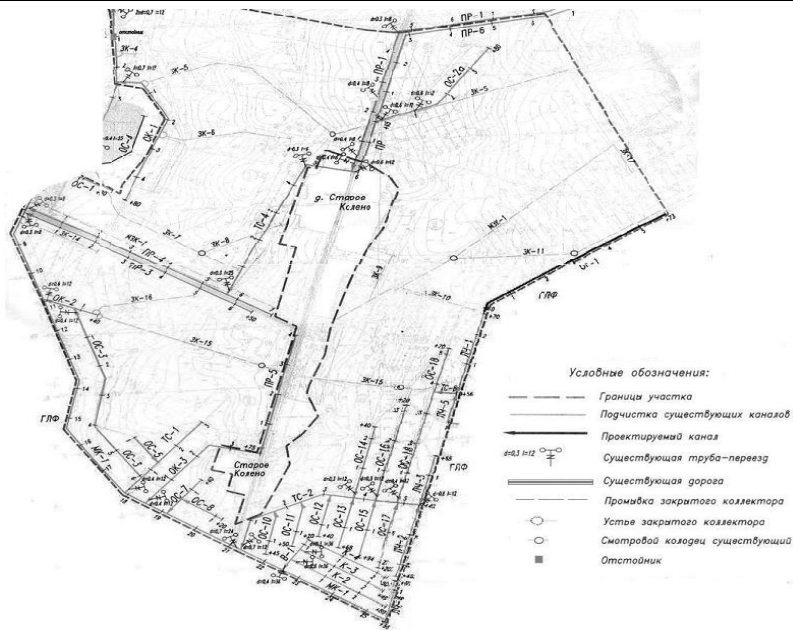


Рис. 2. Схема дренажных систем на территории Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии.

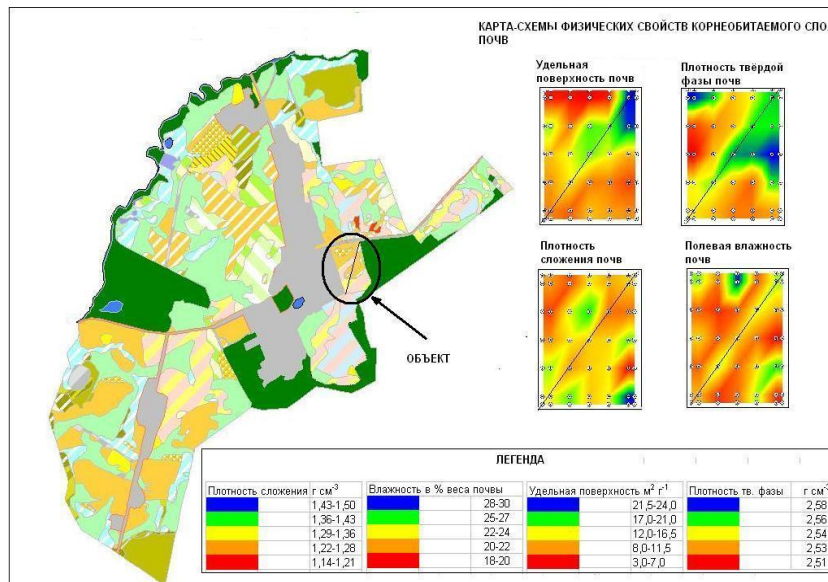


Рис. 3. Пространственное распределение агрофизических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы в Меньковском филиале ГНУ АФИ Россельхозакадемии

Результаты исследований оптимальных и критических агрофизических свойств корнеобитаемого слоя почвы с известными генетическими свойствами используют для установления нормативов оптимизации её агрофизического состояния для каждой почвенной разности. Под нормативами оптимизации агрофизического состояния почв на однородном ареале предложено рассматривать степени соответствия их реальных и оптимальных агрофизических свойств. Степени оптимизации агрофизических параметров предложено ранжировать, например, в интервалах: 11–40, 41–70 и 71–100% (от их

абсолютных критических значений) для почв, обладающих слабой, средней и высокой физической окультуренностью, соответственно (Балашов, Моисеев, 2009).

Согласно результатам агрофизического мониторинга, слабо, средне и высоко окультуренная дерново-подзолистая супесчаная почва под яровой пшеницей в эксперименте по исследованию технологии точного земледелия обладала следующими оптимальными параметрами агрофизического состояния (Таблица) (Балашов, Моисеев, 2009; Лекомцев, Матвеев, 2011).

**Таблица.** Основные агрофизические параметры дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности в Меньковском филиале ГНУ АФИ Россельхозакадемии

Параметр	Физическая окультуренность почвы		
	слабая	средняя	высокая
Наименьшая влагоёмкость, % от массы почвы	17–19	22–25	26–30
Объёмная масса почвы, г см <sup>-3</sup>	1,4–1,5	1,3–1,4	1,15–1,25
Сопrotивление пенетрации, кПа	120–200 при мощности пахотного горизонта 17–19 см	80–100 при мощности пахотного горизонта 19–24 см	30–60 при мощности пахотного горизонта 25–30 см
Общая пористость, %	42–46	46–50	49–55
Урожайность яровой пшеницы относительно максимальной на высоко окультуренной почве, %	30–50	50–75	100

### Мониторинг прямых эмиссий и внутрипочвенных потоков парниковых газов

Мониторинг прямых эмиссий N<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub>, которые являются составляющими экологической биохимической функции почв, проводят, как правило, с помощью известного метода закрытых камер (Buchkina и др., 2010, 2013). Этот метод является наиболее распространённым методом количественной оценки прямых эмиссий парниковых газов из почв в полевых условиях и позволяет исследователям самостоятельно регулировать местоположение камер и время экспозиции. Измерения концентраций N<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> в образцах воздуха выполняют с помощью газовых хроматографов, оснащённых детекторами электронного захвата и теплопроводности. В качестве несущего газа в хроматографах используют азот или гелий высокой чистоты, а для калибровки используются стандартные газовые смеси.

Результаты инструментальной оценки прямых эмиссий и внутрипочвенных потоков парниковых газов в почвах с известными генетическими, оптимальными и критическими агрофизическими свойствами корнеобитаемого слоя почвы используют для оценки экологической и экономической эффективности мелиоративных и сельскохозяйственных мероприятий.

При оценке эмиссии парниковых газов из почв на обширных сельскохозяйственных территориях закрытые камеры устанавливаются на всех участках, различающихся по макро- и мезорельефу; степени проявления гидроморфизма почв, физических и физико-химических свойствам почв, составу, дозам и срокам внесения удобрений; типам сельскохозяйственных культур и/или технологиям их возделывания (Оленченко и др., 2012; Бучкина и др., 2013) (рис. 4). Погодные и почвенные параметры регистрируются в динамике одновременно с измерениями прямых эмиссий парниковых газов.



Рис. 4. Использование метода закрытых камер для измерения прямой эмиссии закиси азота и углекислого газа из почв

Результаты наших исследований показали, что в зависимости от почвенно-климатических условий кумулятивный поток  $N_2O$  из одной и той же почвы может существенно варьировать, увеличиваясь при переувлажнении и переуплотнении почвы, а также при поступлении в почву азотсодержащих удобрений и растительных остатков (Buchkina и др., 2010, 2013; Рижия и др., 2011) (рис. 5).

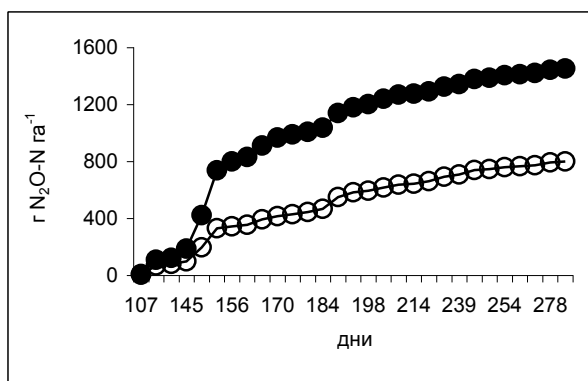


Рис. 5. Кумулятивная эмиссия закиси азота из переувлажнённой (черные значки) и оптимально увлажнённой (белые значки) дерново-подзолистой супесчаной почвы в Меньковском филиале ГНУ АФИ Россельхозакадемии

Приведенные данные свидетельствуют о том, что снижение эмиссии  $N_2O$  из почв может быть осуществлено благодаря регулированию микробиологических процессов денитрификации и нитрификации с помощью эффективных мелиоративных мероприятий.

Эмиссионный фактор – доля азота, выделившегося в атмосферу в виде  $N_2O$ , в процентах от количества азота, внесённого в почву с удобрениями, – является оценочной характеристикой не только экологической, но и экономической эффективности агротехнических и мелиоративных мероприятий, поскольку способствует внедрению обоснованного дифференцированного внесения азотных удобрений. Согласно рекомендациям МГЭИК, критическое значение эмиссионного фактора составляет 1,25%.

Другой оценочной характеристикой является отношение кумулятивного потока  $N_2O$  из почв за вегетационный сезон к величине урожая (рис. 6). Его величина зависит не только от количества вносимых в почву удобрений, но и от степени окультуренности и гидроморфизма почв, типа выращиваемой культуры (Buchkina и др., 2012).

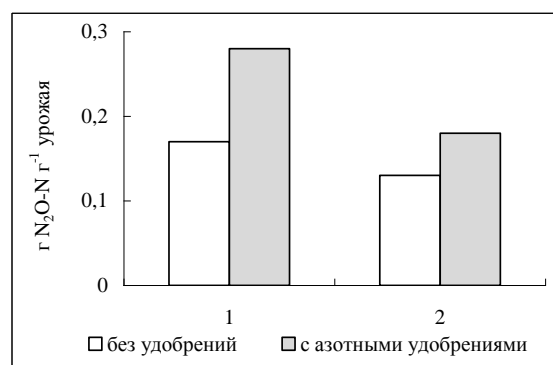


Рис. 6. Отношение кумулятивного потока  $N_2O$  к урожаю ярового ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве со средней (1) и высокой (2) степенью окультуренности в Меньковском филиале ГНУ АФИ Россельхозакадемии.

Полученные результаты подтвердили, что, во-первых, отношение кумулятивного потока  $N_2O$  к единице урожая сельскохозяйственных культур является эффективным показателем оценки газообразных потерь азота из почв, и, во-вторых, эффективность минеральных азотных удобрений увеличивалась по мере повышения окультуренности почв.

В наших исследованиях мониторинг агрофизического состояния почв включал измерения динамики внутрипочвенных концентраций  $N_2O$  и  $CO_2$  и расчёты их потоков в профиле почв. Динамика внутрипочвенных концентраций  $N_2O$  даёт представление о доминировании процессов либо денитрификации, либо нитрификации, которые наблюдаются в анаэробных или аэробных условиях, соответственно. Количественную оценку динамики концентраций парниковых газов в профиле почвы выполняли с помощью известного метода силиконовых трубок (рис. 7). Трубки размещали на различной глубине профиля почвы и из них регулярно отбирали образцы воздуха. Измерения температуры почвы, содержания влаги и минерального азота проводили одновременно.

Согласно результатам наших исследований, средние значения интенсивности потоков  $N_2O$  в 10–30-см слое были выше в высоко окультуренной почве, чем в средне окультуренной почве (рис. 8).

Потоки  $N_2O$  и  $CO_2$  в высоко окультуренной почве были преимущественно восходящими, а в средне окультуренной почве – нисходящими; наибольшая теснота связей между потоками  $N_2O$  и  $CO_2$  выявлена в профиле высоко окультуренной почвы.



Рис. 7. Использование метода силиконовых трубок для измерения концентраций закиси азота и углекислого газа в профиле дерново-подзолистой супесчаной почвы на разной глубине

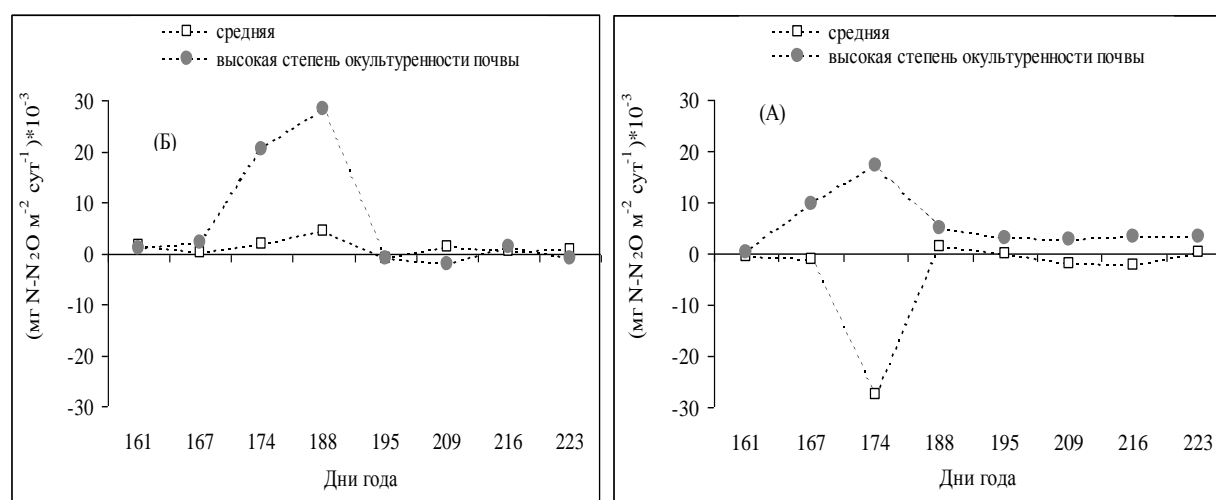


Рис. 8. Динамика потоков  $N_2O$  в 10-30-см слоях средне и высоко окультуренных дерново-подзолистых супесчаных почв на участках с (А) и без (Б) минеральных азотных удобрений в Меньковском филиале ГНУ АФИ Россельхозакадемии

### Построение банка данных

Результаты комплексных исследований генетических, агрофизических свойств почв и прямых эмиссий парниковых газов из почв используются для: (1) принятия обоснованных рекомендаций по применению экономически и экологически эффективных мелиоративных и сельскохозяйственных мероприятий, и (2) разработки современных моделей продукционных процессов и эмиссий парниковых газов. Специализированные базы данных, объединённые в унифицированный банк данных, предоставляют заинтересованным пользователям возможность использования накопленной информации (Balashov и др., 2010).

В ГНУ АФИ Россельхозакадемии разработали и к настоящему времени зарегистрировали две базы данных.

Базу данных агрофизического состояния сельскохозяйственных дерново-подзолистых почв построили на основе результатов полевых исследований в Меньковском филиале ГНУ АФИ Россельхозакадемии и в ГНУ Псковский НИИСХ Россельхозакадемии (Моисеев и др., 2009; Гончаров и др., 2009а, б). Для организации всех экспериментальных данных в единой базе выбрали системы управления базами данных MS Office Access и MS Office Excel. Форма ввода входной информации представлена на рисунке 9. Все таблицы базы данных связаны между собой. В базу данных включили следующие агрофизические свойства почв: содержание влаги, твёрдость, плотность сложения, плотность твёрдой фазы, удельная поверхность, спектральная яркость, гранулометрический состав почв.

База данных содержит пакет картосхем в программе Mapinfo. Представлены способы создания картосхем и визуального отображения выходной информации о результатах мониторинга агрофизического состояния почв.

Для создания базы экспериментальных данных о прямых эмиссиях  $N_2O$  из дерново-подзолистых супесчаных почв также выбрали систему управления базами MS Office Access (Бучкина и др., 2011).

Наряду с данными о суточных и кумулятивных эмиссиях  $N_2O$  из почв, база данных содержит информацию о выращиваемых культурах и их урожаях, датах проведения технологических операций, датах и дозах внесения минеральных, органических и зеленых удобрений, информацию о динамике физических, физико-химических и агрохимических свойств почв, а также данные по суточной динамике метеорологических параметров в агроклиматическом районе исследований (рис. 10 и 11).

Рис. 9. Окно для ввода входной информации в базу данных агрофизического состояния дерново-подзолистой почвы

Рис. 10. Титульный лист и содержание базы данных по эмиссии закиси азота из сельскохозяйственных дерново-подзолистых супесчаных почв.

Год	Делянка	Культура	Количество N, внесенного с удобрениями, кг N/га	Кумулятивный поток N2O, кг N2O-N/га	Ошибка, кг N2O-N/га
2003	0	Клевер с тимофеевкой 2-й год	0	0,473	0,118
2003	0	Чёрный пар	0	0,577	0,155
2003	0	Чёрный пар	328	2,042	0,555
2003	0	Чёрный пар	656	1,844	0,381
2004	0	Ячмень	0	0,259	0,06
2004	0	Ячмень	65	0,525	0,16
2004	0	Ячмень	110	0,753	0,167
2004	0	Картофель	120	1,32	0,553
2004	0	Вико- овсяная смесь	0	0,56	0,15
2004	80	Вико- овсяная смесь	328	2,265	0,393
2004	160	Вико- овсяная смесь	656	2,977	1,558

Рис. 11. Страница базы данных с информацией о кумулятивной эмиссии закиси азота из сельскохозяйственных дерново-подзолистых супесчаных почв

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексная система мониторинга агрофизического состояния сельскохозяйственных и мелиорированных почв основана на использовании результатов трёх системных этапов: расширенного почвенное картографирование; исследования агрофизических свойств почв; исследования прямых эмиссий парниковых газов и их внутрипочвенных потоков.

Расширенное почвенное картографирование, наряду с традиционным морфогенетическим исследованием структуры почвенного покрова, включает совместное профильное исследование генетических и агрофизических свойств почв.

Результаты исследований оптимальных и критических агрофизических свойств корнеобитаемого слоя почвы с известными генетическими свойствами используют для установления нормативов оптимизации агрофизического состояния почвы.

Результаты инструментальной оценки прямых эмиссий и внутрипочвенных потоков парниковых газов в почвах с известными генетическими, оптимальными и критическими агрофизическими свойствами корнеобитаемого слоя почвы применяют для оценки экологической и экономической эффективности мелиоративных и сельскохозяйственных мероприятий в снижении газообразных потерь азота и углерода.

Результаты исследований агрофизических свойств почв и прямых эмиссий парниковых газов из почв объединены в зарегистрированные базы данных.

Применение системы мониторинга позволяет более обоснованно оценить эффективность работы дренажных систем на основе результатов анализа изменений морфогенетических и агрофизических параметров мелиорированных почв с использованием адаптивно-ландшафтного подхода к оценке территорий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балашов Е. В., Моисеев К. Г. 2009. Нормативы оценки оптимизации физических параметров почв обеспечивающие совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур в полевых и регулируемых условиях. Методические рекомендации. СПб.: АФИ. – 22 с.
- Бучкина Н. П., Балашов Е. В., Рижия Е. Я., Маглыш Е. Г. 2011. База данных по прямым эмиссиям закиси азота из сельскохозяйственных супесчаных дерново-подзолистых почв Ленинградской области. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620350. Дата регистрации 10 мая 2011 года.
- Бучкина Н. П., Рижия Е. А., Соломатова Е. А., Балашов Е. В. 2013. Прямая эмиссия закиси азота из лугопастбищных почв Северо-Западного Федерального Округа Российской Федерации. Агрофизика, 1(9), с. 1–7.
- Гончаров В. Д., Маглыш Е. Г., Моисеев К. Г. 2009а. Агрофизический мониторинг и построение базы экспериментальных данных физических параметров почв. – В: Материалы координационного совещания и научной сессии Агрофизического института. СПб.: АФИ, с. 143–147.
- Гончаров В. Д., Моисеев К. Г., Маглыш Е. Г., Дятлова М. В. 2009б. Диагностика состояния почвенно-растительного комплекса и эффективность агротехнологических мероприятий. В: Сб. тр. конференции с международным участием: Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления. СПб.: АФИ. с. 142–144.

- Лекомцев П. В., Матвеев Д. А. 2011. Оптимизация внесения азотных подкормок по оптическим характеристикам посевов яровой пшеницы. Известия Санкт-Петербургского Государственного Аграрного Университета, 24, с. 62–67.
- Моисеев К.Г. 1990. Принципы построения численных критериев подобия физических процессов в почве. В: Сб. тр.: Математическое и программное обеспечение задач управления агроэкосистемами. Л., АФИ, с.103-109.
- Моисеев К. Г. 2011. К оценке физического состояния дерново-подзолистых почв. Агрофизика, 1(1), с. 38-44.
- Моисеев К. Г. 2012. Мониторинг агрофизических свойств пахотных почв Северо-запада России. Методические рекомендации. Изд-во: Palmarium Academic Publishing, 74 с.
- Моисеев К. Г. 2013. Расчёт плотности дерново-подзолистых супесчаных почв по диаграммам твердости. Почвоведение, 10, с. 1228–1322.
- Моисеев К.Г., Бойцова Л.В., Гончаров В.Д. 2012. Способы выделения илстой фракции почв. Агрофизика, 1(5), с. 35-39.
- Моисеев К. Г., Гончаров В. Д., Маглыш Е. Г. 2009. База данных агрофизического состояния дерново-подзолистых супесчаных почв ГНУ Меньковская опытная станция Агрофизического научно-исследовательского института (ГНУ МОС АФИ) и опытных полей ГНУ Псковского Научно-исследовательского института сельского хозяйства (ГНУ ПНИИСХ). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2009620582. Дата регистрации 10 декабря 2009 года.
- Моисеев К. Г., Гончаров В. Д., Зинчук Е. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Гурин П. Д., Старцев А. С., Пищик В. Н. 2013. База данных почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2013620682. Дата регистрации 6 июня 2013 года.
- Моисеев К. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Зинчук Е. Г., Гончаров В. Д. 2013. Корректировочные работы по крупномасштабному почвенному картографированию Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии. Агрофизика, 1(9), с. 30–36.
- Оленченко Е. А., Рижия Е. Я., Бучкина Н. П., Балашов Е. В. 2012. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой супесчаной почвы на ее физические свойства и урожайность сельскохозяйственных культур в агрофизическом стационаре. Агрофизика, 4(8), с. 8–18.
- Пятое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. 2010, Москва. 137 с.
- Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Бучкина Н. П., Панова Г. Г. 2011. Влияние пожнивных остатков с различным отношением C/N на эмиссию закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы. Почвоведение, 10, с. 1251–1259.
- Сурин В. Г. Моисеев К. Г., Курашвили А. Е. 2012. Возможности использования гиперспектрометра Лептон для мониторинга состояния почвенно-растительного комплекса. Агрофизика, 4(8), с. 34–44.
- Шишов Л. Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. 2004. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: «Ойкумена», 342 с.
- Arshad M. A., Martin S. 2002. Identifying critical limits for soil indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment. 88:153-160.
- Balashov E., Horak J., Siska B., Buchkina N., Rizhiya E., Pavlik S. 2010. N<sub>2</sub>O fluxes from agricultural soils in Slovakia and Russia – direct measurements and prediction using the DNDC model. Folia Oecologica, 37: 8-15.
- Buchkina N. P., Balashov E. V., Rizhiya E. Y., Smith K. A. 2010. Nitrous oxide emissions from a light-textured arable soil of North-Western Russia: effects of crops, fertilizers, manures and climate parameters. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 87: 429-442.
- Buchkina N., Rizhiya E., Balashov E. 2012. N<sub>2</sub>O Emission from a loamy sand Spodosol as related to soil fertility. Archives of Agronomy and Soil Sciences, 58 (suppl. 1): S141-S146.
- Buchkina N. P., Rizhiya E. Y., Pavlik S. V., Balashov E. V. 2013. Soil Physical Properties and Nitrous Oxide Emission from Agricultural Soils. In: Advances in Agrophysical Research. (S. Grundas Ed.), ISBN: 978-953-51-1184-9, In-Tech, Shanghai, p. 193–220.
- De Kimpe C. D., Warkentin B. P. 1998. Soil functions and the future of natural resources. In: Advances in Geocology 31 (H.-P. Blume, H. Eger, E. Fleischhauer, A. Hebel, C. Reij, K.G. Steiner, Eds.), Catena Verlag, Reiskirchen, Germany. 1:3-10.
- Fleischhauer E., Eger H. 1998. Can sustainable land use be achieved? An introductory view on scientific and political issues. In: Advances in Geocology 31 (H.-P. Blume, H. Eger, E. Fleischhauer, A. Hebel, C. Reij, K.G. Steiner, Eds.), Catena Verlag, Reiskirchen, Germany. 1:XIX-XXXII.
- Karlen D. L., Mausbach M. J., Doran J. W., Kline R. G., Harris R.F., Schuman G. E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal. 51:4-10.
- Nortcliff S. 2002. Standartisation of soil quality attributes. Agriculture, Ecosystems & Environment. 88:161-168.
- Seybold C. A., Herrick J. E., Brejda J. J. 1999. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. Soil Science. 164:224-234.