

8. Иванов А. И., Конашенков А. А., Иванова Ж. А., Воробьёв В. А., Фесенко М. А., Данилова Т. А., Филиппов П. А. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России // *Агрофизика*. 2016. № 2. С. 35–44.
9. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Фрейдкин И. А. Воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв с использованием нового органоминерального удобрения // *Плодородие*. 2014. № 6(81). С. 20–22.
10. Иванов А. И., Лекомцев П. В. Методология мониторинга неоднородности состояния мелиорированных земель на основе развития физико-технической базы адаптивно-ландшафтного земледелия. СПб.: АФИ, 2013. 65 с.
11. Иванов А. И., Фрейдкин И. А., Иванова Ж. А. Агроэкологическая эффективность применения нового органоминерального удобрения на основе птичьего помёта // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2014. № 3. С. 19–22.
12. Мерзлая Г. Е., Лысенко В. П. Ресурсы птицефабрик для производства органических удобрений // *Агрохимический вестник*. 2005. № 3. С. 21–23.
13. Шафран С. А. Динамика плодородия почв нечернозёмной зоны и резервы // *Агрохимия*. 2016. № 8. С. 3–10.

DOI:

СКРЫТЫЕ РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ РОССИИ

Ж. А. Иванова, В. В. Костыгова, М. А. Пономарёва

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В многоуровневых полевых, вегетационных и лабораторных экспериментах на дерново-подзолистых почвах установлены параметры агрономической эффективности и детоксикационные свойства органо-глинистого и известковистого сапропелей. Выявлено их положительное влияние на питательную ценность фуражного зерна и зеленой массы многолетних трав.

HIDDEN RESERVES OF INCREASE OF EFFICIENCY OF AGRICULTURE IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA

Zh. A. Ivanova, V. V. Kostygova, M. A. Ponomareva

Agrophysical Research Institute

Local fertilizers remain an available resource for curbing degradation processes in agricultural soils of the North-West of Russia. For this purpose, the deposits of sapropelic raw materials, whose reserves in the region are 7 billion m³, are promising. Modern methods of remote sensing can significantly reduce the cost of integrated development of individual sapropel deposits. The study was carried out in a series of laboratory, vegetation and microfield experiments. Studied in detail the properties of sapropel deposits of Small lakes and Boron Lazowska Velikoluksky district of the Pskov region. Sandy and medium-loamy sod-weakly podzolic soils with agrochemical characteristics: phkcl 6,46–6,75 and 4,12–4,90; humus content 0,70–1,03 and 2,00–2,10%, mobile phosphorus compounds 220–263 and 198–236 mg/kg and potassium 70–148 and 120 – 225 mg/kg, respectively. Sapropel fertilizers were used in the dried and

natural state at random and in the alluvium at doses of dry matter from 30 to 100 t/ha. In addition, options for their joint application with manure and mineral fertilizers were studied. In vegetation and micropolish experiments stretch the cultivated barley varieties of Elf and fescue varieties Pskov local. Repetition of the experiments 3 to 4-fold. Organo-clay sapropel has very little effect on the acid-base properties, phosphate and potassium state of sandy loam and medium-loamy sod-podzolic soils. At the same time, at a dose of 30 t/ha, it optimizes their nitrogen regime. In the field, the spread application of 44 t/ha of dried sapropel in the first year increases the content of ammonium exchange by 106–115 %, nitrates by 36–62 %. Alluvial deposition, especially in medium loam soil, affected by weaker – increase the first figure reaches 48 %, other 32 %. On agronomic efficiency on crops of an oatmeal the meadow dried organic-clay sapropel and manure in average doses are equal. Sapropel increases the yield of dry matter of meadow fescue on 14–23% in the year of application and on 17–23% in after-effect, providing for three years the energy efficiency ratio at the level of 4.59 – of 5.83 units. The absolute increase in yield from the use of sapropel on medium-loamy soil is higher than on sandy loam by 40%. Precoat application of sapropel 5% less efficiently broadcast only in strongly acidic medium loamy soil. The addition of dried organo-clay sapropel with mineral fertilizers and manure is ineffective. Organo-clay sapropel is advisable to use for grain and perennial herbs at doses of 40–50 t/ha on sod-podzolic soils of sandy loam and loamy granulometric composition. Given that the effectiveness of this fertilizer is largely dependent on the nitrogen content, the amount of the latter at the introduced dose should not be less than 200 kg. The use of naturally moist sapropel is more effective on soils of light granulometric composition in doses of 100–120 t/ha. in terms of man-made soil contamination with cadmium, as well as on strongly and medium-acid soils, it is justified to use local resources of lime sapropels as a meliorant, using them in doses up to 30 t/ha.

Земледельческая отрасль Северо-Запада России в настоящее время практически не способна осуществлять успешное воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв (Иванов и др., 2009, 2010, 2016; Архипов и др., 2015, 2016; Шафран, 2016). По сути, единственным доступным ресурсом для сдерживания деградационных процессов остаются местные удобрения (Иванов, 1998; Иванов и др., 2008; Иванов, Иванова, Фрейдкин, 2014). Весьма перспективным для применения, но пока малоиспользуемым в качестве удобрения является сапропелевое сырье, запасы которого на Северо-Западе РФ оцениваются в 7 млрд. м³. Современные методы дистанционного зондирования позволяют существенно сократить затраты на комплексное обоснование разработки отдельных залежей сапропеля и их использование при восстановлении эффективного плодородия почв вторично осваиваемых сельскохозяйственных угодий (Иванов, Лекомцев, 2013). Удобрения на основе сапропеля могут обеспечить удовлетворительные прибавки урожая зерновых, пропашных культур и многолетних трав (Хохлов, 1991; Иванов, Иванова,

Моисеев, 2005). Они обладают также выраженными способностями к детоксикации химически загрязненных почв и препятствуют поступлению в растения ряда тяжёлых металлов (Иванов и др., 2008). В серии лабораторных, вегетационных и микрополевых опытов были детально изучены свойства сапропелей из залежей озёр Мелкое и Бор Лазавское Великолукского района Псковской области, установлены параметры их потенциального и реального воздействия на питательный режим и свойства лёгких и тяжёлых дерново-подзолистых почв (в том числе загрязнённых кадмием), определён уровень их агроэкономической и энергетической эффективности на зерновых и многолетних травах, а также характер воздействия на качественные показатели основной продукции.

В опытах одним из основных объектов исследования являлись супесчаные и среднесуглинистые дерново-слабоподзолистые почвы со следующими агрохимическими характеристиками: $pH_{\text{сол.}}$ – 6,46–6,75 и 4,12–4,90; содержание гумуса – 0,70–1,03 и 2,00–2,10%, подвижных соединений фосфора – 220–263 и 198–236 мг/кг, калия – 70–148 и 120–225 мг/кг соответственно. Сапропелевые удобрения существенно различались по комплексу химических свойств. Так, известковистый сапропель из залежей оз. Бор Лазавское на 96% состоял из аморфных карбонатов кальция и магния и содержал незначительное количество других элементов питания. Органо-глинистый сапропель из залежей оз. Мелкое на 65% состоял из органического вещества, поэтому был в несколько раз богаче азотом, фосфором и калием, содержание которых достигало 2,0, 0,4 и 0,5%. Содержание Cd в сапропелях обоих типов составляло 0,41 и 0,60 мг/кг соответственно.

Сапропелевые удобрения применялись в подсушенном и естественном состоянии вразброс и намывом в дозах от 30 до 100 т/га по сухому веществу. Кроме того, изучались и варианты их совместного внесения с навозом и минеральными удобрениями. В вегетационных и микрополевых опытах беспрерывно возделывались ячмень сорта Эльф и овсяница луговая сорта Псковская местная. Опыты проводились в 3–4-х кратной повторности.

Погодные условия в годы исследований складывались крайне разнообразно, а засуха и чрезмерная дождливость зачастую способствовали снижению отдачи от удобрений.

В ходе детального обобщения накопленного научного материала был установлен целый ряд закономерностей, имеющих весьма важное научно-теоретическое и агропроизводственное значение.

Органо-глинистый сапропель оказывает весьма незначительное влияние на кислотно-основные свойства, фосфатное и калийное состояние супесчаной и среднесуглинистой дерново-подзолистых почв. Однако при применении уже в дозе 30 т/га он оптимизирует их азотный режим. В полевых условиях в результате разбросного внесения подсушенного сапропеля в дозе 44 т/га в первый год содержание обменного аммония увеличилось на 106–115%, а нитратов – на 36–62%. Намывное внесение, особенно в среднесуглинистую почву, оказывает более слабое влияние – первый показатель увеличился на 48%, второй – на 32%. В последствии положительный эффект от применения сапропеля снизился, однако достоверное преимущество над контролем по содержанию обменного аммония и нитратов в среднем за два года составило 46% и 42% соответственно.

Напротив, известковистый сапропель в дозе 30 т/га, оказывающий слабое влияние на доступные растениям соединения азота и фосфора, практически полностью нейтрализует даже среднекислую среднесуглинистую почву. В результате его применения показатели обменной кислотности и содержания подвижного алюминия достигли нулевых значений, а гидролитическая кислотность снизилась в два раза у супесчаной почвы и в 5–6 раз – у среднесуглинистой. Насыщение ППК кальцием привело к существенному уменьшению запасов водорастворимого калия (на 30–35%) и некоторому снижению его поглощения. Агрономический эффект от применения сапропелевых удобрений в средних дозах был неустойчивым на ячмене и стабильно удовлетворительным – на овсянице луговой. В первый год применение органо-глинистого сапропеля в дозе 30 т/га обеспечило 9–15%-ю

прибавку урожая зерна ячменя, а последствие на данной культуре отсутствовало. Известковистый сапропель за счёт нейтрализации почвенной кислотности способствовал 10%-му увеличению урожайности на среднесуглинистой среднекислой почве лишь на второй год опыта. Агрономическая эффективность от применения подсушенного органо-глинистого сапропеля и навоза на посевах овсяницы луговой оказалась почти равнозначной. Первый содействовал увеличению урожайности сухого вещества овсяницы луговой на 14–23 % в год внесения и на 17–23% – в последствии, обеспечив за три года коэффициент энергетической эффективности на уровне 4,59–5,83 ед. Абсолютные прибавки урожая от применения сапропеля на среднесуглинистой почве были на 40% выше, чем на супесчаной. Намывное применение сапропеля оказалось на 5% менее эффективным по сравнению с разбросным только на сильнокислой среднесуглинистой почве. Внесение подсушенного органо-глинистого сапропеля совместно с минеральными удобрениями и навозом оказалось неэффективным. Органо-глинистый сапропель способствовал увеличению содержания сырого протеина в зерне ячменя и зелёной массе овсяницы луговой: в среднем за три года содержание сырого протеина увеличилось на 8–10%, а его сбор – на 24–29%, содержание сырой клетчатки снизилось на 12–13%.

Агроэкологическая эффективность известковистого и органо-глинистого сапропеля резко изменяется при их использовании на загрязнённых тяжёлыми металлами дерново-подзолистых почвах. В результате изучения их физико-химических свойств установлено, что они принципиально отличаются друг от друга по природе взаимодействия с растворимыми солями токсикантов (в частности, кадмия). Если в органо-глинистом виде доминирует механизм обменной адсорбции, то в известковистом – хемосорбции. Это обуславливает существенные различия в проявлении мелиоративного эффекта на химически загрязнённых почвах. Предельное поглощение кадмия органо-глинистым сапропелем составляет около 90 мг-экв/100 г (5 г/100 г), свинца – около 112 мг-экв/100 г (11,6 г/100 г). Следовательно, теоретически доза органо-

глинистого сапропеля в 40 т/га способна поглотить 2 тонны кадмия и 4,6 тонны свинца. Известковистый сапропель теоретически способен химически связать ещё большее количество тяжёлых металлов.

В серии вегетационных опытов доказано существование мелиоративного эффекта от применения сапропелевых удобрений в средних дозах на почвах, подвергшихся сильному загрязнению кадмием. При использовании органо-глинистого сапропеля в высоких дозах за счёт естественного наличия кадмия в составе сырья состояние почвы может ухудшиться. При низком уровне загрязнения почв токсикантом мелиоративного эффекта не выявлено.

Сапропели в средних дозах практически не оказывают воздействия на естественное состояние Cd в почвах опыта. Также органо-глинистый сапропель не влияет на подвижность Cd в загрязнённой почве. Это связано с доминированием обменного типа поглощения Cd. При внесении известковистого сапропеля содержание подвижного Cd уменьшается на 40–42% уже к концу первого года исследования за счёт образования нерастворимых карбонатов и гидроксидов кадмия. И всё-таки получение доброкачественной продукции при загрязнении дерново-подзолистых почв кадмием на уровне 10 мг/кг практически невозможно. Однако с помощью применения известковистого сапропеля накопление токсиканта в зерне ячменя можно сократить на 13%.

Таким образом, органо-глинистый сапропель целесообразно применять под зерновые и многолетние травы в дозах 40–50 т/га на дерново-подзолистых почвах супесчаного и суглинистого гранулометрического состава. Учитывая, что эффективность данного удобрения в значительной мере зависит от содержания азота, количество последнего во вносимой дозе должно быть не менее 200 кг. Использование естественно-влажного сапропеля в дозах 100–120 т/га эффективнее на почвах лёгкого гранулометрического состава. В условиях техногенного загрязнения почвы кадмием, а также на сильно- и среднекислых почвах целесообразно использование в качестве мелиоранта известковистых сапропелей из местных ресурсов в дозах до 30 т/га.

Список литературы

1. Архипов М. В., Иванов А. И., Сеницына С. М., Данилова Т. А., Федорова З. Л., Тюкалов Ю. А., Сухопаров А. И., Перекопский А. Н., Чекмарев О. П. Методологические и информационно-технологические основы развития кормопроизводства в Северо-Западном регионе РФ. СПб.: ИАЭП, 2015. 182 с.
2. Архипов М. В., Иванов А. И., Данилова Т. А., Сеницына С. М., Тюкалов Ю. А., Пасынкова Е. Н. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России. СПб. – Пушкин, 2016. 136 с.
3. Иванов А.И. Осадок сточных вод в системах удобрения зерновых // Зерновые культуры. 1998. № 6. С. 10–11.
4. Иванов А. И., Воробьев В. А., Лямцева Е. Г. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения // Агрохимия. 2009. № 4. С. 21–26.
5. Иванов А. И., Цыганова Н. А., Воробьев В. А. Оценка длительного использования хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрения // Агрохимия. 2010. № 3. С. 17–21.
6. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Воробьев В. А., Цыганова Н. А. Агроэкологические последствия длительного использования дефицитных систем удобрения на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2016. № 4. С. 10–17.
7. Иванов А. И., Иванов И. А., Иванова Ж. А., Цыганова Н. А., Моисеев Д. А. Азотный режим лёгких дерново-подзолистых почв и его оптимизация в условиях дефицита традиционных удобрений // Агрохимия. 2008. № 9. С. 5–15.
8. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Фрейдкин И. А. Воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв с использованием нового органоминерального удобрения // Плодородие. 2014. № 6(81). С. 20–22.
9. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Моисеев Д. А. Влияние системы удобрения на основе сапропеля на свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность овсяницы луговой // Агрохимия. 2005. № 7. С. 9–18.
10. Иванов А. И., Надточий И. А., Сорокина И. Ю. Оценка мелиорирующего эффекта сапропелевых удобрений на загрязнённых кадмием дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. 2008. № 2. С. 77–85.
11. Иванов А. И., Лекомцев П. В. Методология мониторинга неоднородности состояния мелиорированных земель на основе развития физико-технической базы адаптивно-ландшафтного земледелия. СПб.: АФИ, 2013. 65 с.
12. Хохлов В. И. Современное состояние добычи и использования сапропеля на удобрения: обзорная информация // ВНИИТЭИ агропром. М., 1991. 60 с.
13. Шафран С. А. Динамика плодородия почв нечернозёмной зоны и резервы // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3–10.