



УДК 631.445.12 (47)

Л.И. ИНИШЕВА, член-корреспондент РАН, заведующая лабораторией,
ЛЕХ ШАЙДАК*, профессор

Томский государственный педагогический университет,
*Институт экологии, сельского и лесного хозяйства Польской Академии наук
e-mail: inisheva@mail.ru

К ВОПРОСУ О ХИМИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТОРФОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ*

На основе изучения общетехнических, агрохимических и химических свойств торфов и выбора значимых параметров разработана классификация торфов для их рационального использования в сельском хозяйстве. Показано, что параметры торфов различаются в пределах не только их типа, но и вида. Условия и глубина залегания также влияют на химический состав торфов, усиливая или изменяя направление биохимических процессов. Для классификации торфов отобрано 142 образца торфа с проведением общетехнических и химических анализов. Каждый вид по ботаническому составу представлен выборкой из 6–19 образцов. Проведен анализ состава органического вещества западно-сибирских торфов и определены их особенности. На основе корреляционного анализа выявлено, что значимые параметры органического состава исследуемых торфов – сумма гуминовых кислот, липиды, отношение C/N, углеводы. Это дает основание рассматривать их как возможные параметры агрохимической классификации торфов. Для разработки классификации торфов использован системный метод, основанный на анализе целостных интегративных свойств объектов, выявлении различных его связей и их структуры. Правильность выбора параметров классификации оценена с помощью факторного анализа. Установлены основные параметры классификации торфов сельскохозяйственного назначения: сумма гуминовых кислот и pH солевой вытяжки. Для низинных торфов классификация дополнена следующими параметрами: зольностью и содержанием в золе оксидов Fe_2O_3 , SO_3 , P_2O_5 , CaO.

Ключевые слова: торф, биохимическая устойчивость, параметры, классификация, системный метод, факторный анализ.

С 1961 по 2003 г. в мире из сельхозоборота было выведено 223 млн га сельскохозяйственных угодий, в том числе в России 58 млн га. В РФ из 1,7 млрд га земель 70 млн га подвержены эрозии и дефляции, 73 млн га имеют повышенную кислотность, 26 – переувлажнены и заболочены, 5 – загрязнены радионуклидами и разливами нефти, 1 млн га подвержен опустыниванию [1]. Для восстановления снижающегося плодородия почв, а также для очистки почв от загрязнений необходимы препараты направленного действия как альтернативы минеральным удобрениям и в ряде случаев пестицидам. В качестве такого универсального сырья для получения разнообразной продукции для сельского хозяйства могут служить болотные ресурсы, в частности торф. Его состав и свойства изменяются в широких пределах [2]. По Западной Сибири выявлено 85 основных видов торфа [3].

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 174)) и Polish National Science Centre (DEC 2013/09/B/NZ9/03169).

Если учесть еще два основных показателя, которые влияют на качество торфа, – зольность и степень разложения, то число комбинаций торфа, различающихся по свойствам, будет составлять более 3500.

Западная Сибирь имеет возможность стать мировым экспортером торфяной продукции для сельского хозяйства, так как по запасам торфа она представляет собой крупнейший регион мира с 39 % его мировых запасов. Заметим, что заболачивание в Сибири прогрессирует (ежегодно оно захватывает территорию до 20 тыс. га [4]), то в этом случае торф Западно-Сибирского региона является еще и возобновляемым сырьем.

Рассмотрим кратко агрохимическую природу торфа. Ранее этот вопрос частично уже обсуждался [5, 6]. Ботанический состав торфа, характеризующий растительные группировки, определяется амплитудой растений-торфообразователей. Однако различные болотные растения, например, тростник, некоторые виды осок, отдельные древесные породы, произрастающая в похожих экологических условиях, могут образовывать различные по наименованию, но близкие между собой по агрохимическим и другим свойствам виды торфа. В результате этого его общетехнические и химические показатели различаются в пределах не только типа, но и вида торфа. Условия и глубина залегания торфов, в свою очередь, тоже оказывают влияние на их химический состав, усиливая или вообще изменяя направление биохимических процессов, что отчасти характеризуется степенью разложения торфа.

Современный уровень развития сельскохозяйственной науки требует более дифференцированного подхода к выбору торфа как сырья при получении продукции для сельского хозяйства. Такой выбор должен быть безошибочным, поскольку и сам торф, являясь биоресурсом биосферы, нуждается в рациональном биосферно совместимом использовании. Предполагается, что на основе изучения общетехнических, агрохимических и химических свойств и выбора значимых параметров можно разработать классификацию торфов для их рационального использования в сельском хозяйстве. Классификация торфов для сельского хозяйства поможет решить многокритериальную задачу подбора торфяного сырья для конкретной продукции.

Цель исследования – на основе систематизации свойств торфов разного ботанического состава исследовать их взаимозависимости, обосновать значимые параметры и разработать структуру классификации торфов для получения удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На территории таежной зоны Западной Сибири проведены экспедиционные работы и отобраны образцы торфов в количестве 4 тыс., относящиеся по ботаническому составу к 55 видам. Для характеристики состава торфов отобрано 142 образца по зонально-генетическому принципу, относящихся к 12 видам торфов и расположенных в 8 болотных округах на территории Томской области (см. рисунок).

Были включены все виды представительных для Томской области торфов низинного типа, представляющих особый интерес для сельскохозяйственного использования (древесный, древесно-осоковый и древес-

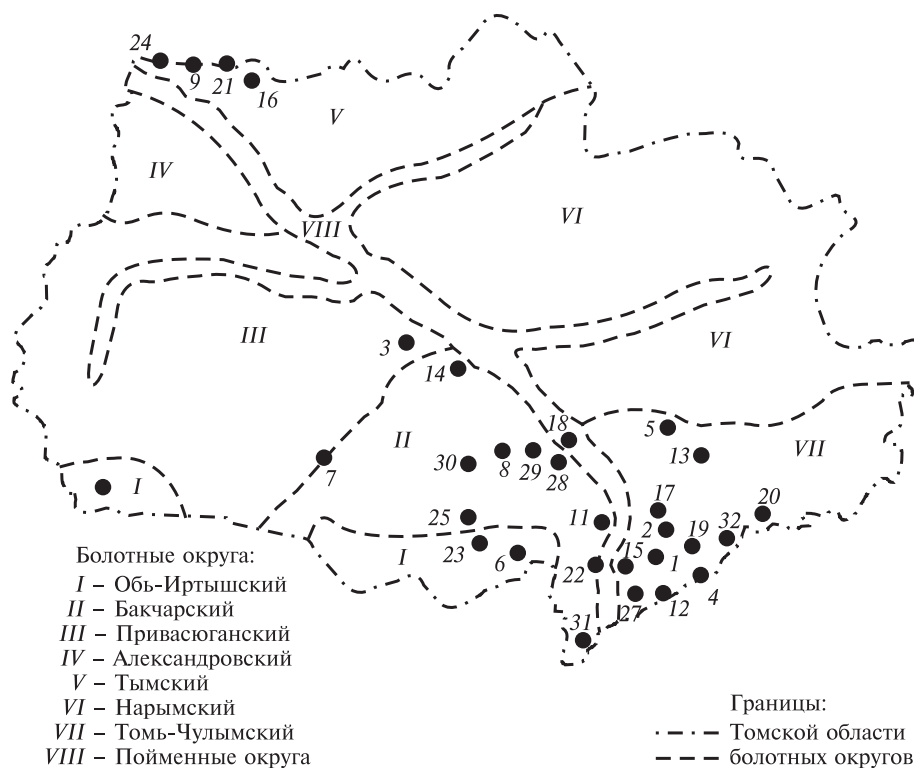


Схема размещения пунктов отбора проб торфов:

торфяные месторождения: 1 – Пивоваровское; 2 – Бачеровское; 3 – Березовское; 4 – Бодажковское; 5 – Болван; 6 – Васюганское (участок № 5); 7 – Васюганское (участок Югинское); 8 – Васюганское (участок № 22); 9 – Вачпугольское; 11 – Гусевское; 12 – Кандинское; 13 – Караколь; 14 – Карасевое; 15 – Карбышевское; 16 – Кичаново; 17 – Клюквенное; 18 – Колмахтон; 19 – Конининское; 20 – Красноярские луга; 21 – Лукашкино; 22 – Обское; 23 – Поротниковское; 24 – Саим; 25 – Суховское; 27 – Таганское; 28 – Татошинское; 29 – Тунгусовское; 30 – Усть-Бакcharское; 31 – Чилийское; 32 – Чумаклы

но-травяной, осоковый, травяной, осоково-гипновый, гипновый), а также репрезентативные виды торфов верхового типа (фускум, комплексный, сфагновый мочажинный, пушицево-сфагновый, шейхцериевый). Каждый вид торфа по ботаническому составу представлен выборкой из 6–19 образцов. В образцах были определены общетехнические свойства (ГОСТ 28245.2–89, ГОСТ 11306–83), фракционный состав азота по Шконде – Королевой [7], фракционно-групповой состав углерода по Пономаревой и Николаевой [8]. Все лабораторные исследования проводили в испытательной лаборатории Томского государственного педагогического университета (№ РОСС RU.0001.516054). Для выявления показателей биохимической устойчивости и разработки классификации торфов использовали системный метод, основанный на анализе целостных интегративных свойств объектов, выявлении различных его связей и их структуры [9].

Правильность выбора параметров классификации оценивали с помощью факторного анализа [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Попытка классифицировать торф по биохимической устойчивости с целью использования в сельском хозяйстве впервые предпринята С.С. Драгуновым и Н.Г. Кабловой [11]. Менее детальной, но более обоснованной в экспериментальном отношении является разработанная Н.Н. Бамбаловым с соавт. [12] классификация торфяных почв в зависимости от геоботанической характеристики. А.И. Поздняков с соавт. [13] предлагает классификацию торфяных почв, основанную на различиях в составе золы древесных и травяных торфов с одной стороны и мхов – с другой. Некоторыми учеными предлагались классификации, основанные на показателях устойчивости органического вещества (ОВ) торфов к биохимической деструкции [14–16]. Все эти классификации базируются на недостаточном экспериментальном материале, некоторые относятся непосредственно к торфяным почвам (а не к торфам). В связи с этим первоначально нами [17] изучены показатели состава ОВ торфов как возможные параметры биохимической устойчивости торфов. В качестве значимых параметров выделены следующие: 1. Сумма гуминовых кислот (ГК) в процентах от $C_{\text{общ}}$; 2. Содержание легкогидролизуемых и трудногидролизуемых (ЛГ и ТГ) веществ как обогащенность ОВ углеводами; 3. Показатель сохранности торфа как интегральный параметр, связывающий два первых; 4. Отношение C/N ; 5. Отношение $C_{\text{ГК}}/C_{\text{ФК}}$.

При создании сельскохозяйственной классификации торфов отбирают наиболее значимые параметры, а их число сокращают до минимума, но с высоким разбросом значений [18]. В связи с этим далее проведены расчеты объяснения природы торфов с разными свойствами как многомерных структур, в том числе и характера их связей. С этой целью применен факторный анализ, который нацелен на снижение размерности исходного признакового пространства. Предпосылками возможности снижения размерности являются взаимная коррелируемость исходных признаков, малая вариабельность некоторых из них и агрегирование. На первом этапе анализа выполнено сравнение коэффициентов корреляции, а для отбора независимых параметров исследовали матрицу коэффициентов корреляции.

Из всех параметров, описывающих состояние ОВ торфов (их было 38), для включения в дальнейший анализ выбрано 8 относительно независимых параметров: сумма ГК, содержание углеводов (ЛГ и ТГ) и негидролизуемого остатка (НГ), отношение C/N , сумма легкогидролизуемого и минерального азота ($N_{\text{ЛГ}} + N_{\text{М}}$), степень разложения, зольность и содержание липидов. Первые 5 параметров обоснованы нами в качестве показателей биохимической устойчивости торфов. Последние 3 параметра рассматриваются из следующих соображений: степень разложения и зольность торфов приняты как параметры, отражающие конечный результат торфообразования, а содержание липидов – как признак, наследуемый торфом от растений-торфообразователей и предположительно влияющий на состояние ОВ торфов. В группе свойств, характеризующих содержание углеводов в торфе (ЛГ, ТГ и ЛГ + ТГ) и сильно коррелирующих друг с другом, в дальнейший анализ был включен параметр ТГ как самый вариабельный. Из группы фракций ГК выбран параметр суммы ГК как интегральный показатель, с которым коррелирует каждая из фракций ГК. Параметры

$C_{ГК}/C_{ФК}$ и сохранность торфа не вошли в окончательную группу из-за значимой корреляции с суммой ГК.

При подборе модели факторного анализа большое значение имеет выбор числа факторов. Число факторов, которое определяли по точке резкого замедления спада линейного графика зависимости собственных чисел факторов от их номера, оказалось равным 3. В табл. 1 и 2 приведены результаты удовлетворительной факторизации методом главных компонент при вращении осей методом *quartimax* [19].

Высокие факторные нагрузки имеют содержание липидов, зольность, сумму ГК и общее содержание легкогидролизуемого и минерального азота. Три фактора обеспечивают 69,3 % суммарной дисперсии. Если ограничиться двумя факторами, то они объясняют 55,8 % дисперсии. Большие нагрузки у первого фактора имеют липиды (–0,82) и зольность (0,79). На основании проведенного факторного анализа установлена следующая иерархия в структуре анализируемых параметров по степени информативности: 1 – сумма ГК; 2 – липиды, зольность; 3 – сумма ($N_{ЛГ} + N_{М}$). Первый параметр, кроме своего определяющего влияния на остальные признаки торфов, имеет общепризнанное отношение к их биохимической устойчи-

Таблица 1
Значение факторных нагрузок исследованных переменных (по результатам анализа параметров методом главных комбинаций с вращением осей способом *quartimax*)

Переменные	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Липиды	–0,826442*	0,180973	–0,030948
Сумма ГК	0,109147	0,912940*	–0,046419
ТГ	–0,189983	–0,504683	0,579910
НГ	0,324287	–0,675098	–0,457344
С/Н	–0,642055	–0,359217	0,37015
Степень разложения	0,483879	0,528694	–0,200999
Зольность	0,794045*	0,143746	0,004094
$N_{ЛГ} + N_{М}$	–0,028074	0,069734	0,834697*
Общая дисперсия	2,113841	2,010752	1,422719
Доли общей дисперсии	0,264230	0,251344	0,177840

* Высокие факторные нагрузки.

Таблица 2
Факторные нагрузки параметров

Фактор	Собственное значение	Процент общей дисперсии	Интегральное значение	Процент общей дисперсии
1	2,757042	34,46302	2,757042	34,46302
2	1,709415	21,36769	4,466457	55,83071
3	1,080855	13,51069	5,547312	69,34140

вости, следовательно, он может быть выбран в качестве базового для классификации.

Следующий шаг – определение второго классификационного параметра из чисто эвристических соображений. Так, агрохимические свойства торфов достаточно удовлетворительно описывают кислотность солевой вытяжки (рН), поскольку установлены достоверные связи величины рН со всеми характеристиками поглощающего комплекса торфов. Как и ГК, рН коррелирует с большим числом признаков: с содержанием воскоsmол (–0,66), минерального азота (–0,51), общего углерода (–0,60), а также с содержанием 2-й фракции фульвокислот, зольностью и степенью разложения. Согласно изложенному выше основными параметрами классификации торфов сельскохозяйственного назначения предлагаются следующие относительно независимые друг от друга признаки: сумма ГК и рН солевой вытяжки.

Вместе с тем важно отметить возрастающее влияние в низинных торфах минеральной составляющей, а также принимая во внимание принятые в агрохимии пределы содержания отдельных элементов в низинных торфах для удобрений, будет правомерным дополнить классификацию низинных торфов такими параметрами, как зольность и содержание в золе оксидов Fe_2O_3 , SO_3 , P_2O_5 , CaO .

Установление границ рангов классификации представляет собой отдельную задачу, поэтому были использованы выработанные практикой разработки внутриотраслевых промышленных классификаций торфов. Вариант классификации торфов сельскохозяйственного назначения представлен в табл. 3.

Таблица 3

Структура классификации торфов сельскохозяйственного назначения

Класс торфа				
рН	Гуминовые кислоты, %			
	до 15	15–25	25–35	более 35
2,6–3,2	Сильнокислый слабогумусный	Сильнокислый малогумусный	Сильнокислый гумусный	Сильнокислый высокогумусный
3,2–4,6	Кислый слабогумусный	Кислый малогумусный	Кислый гумусный	Кислый высокогумусный
4,6–5,8	Слабокислый слабогумусный	Слабокислый малогумусный	Слабокислый гумусный	Слабокислый высокогумусный
5,8–7,2	Нейтральный слабогумусный	Нейтральный малогумусный	Нейтральный гумусный	Нейтральный высокогумусный

Дополнительные параметры

Оксиды (% от золы)

Группа по дополнительным параметрам
(для низинных торфов) $\text{CaO} > 5$

Карбонатный

 $\text{P}_2\text{O}_5 > 2$

Вивианитовый

 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 8$

Железистый

 $\text{SO}_3 > 3$

Сернистый

Согласно градациям этой классификации к группе непригодных (без дополнительных затрат) для сельскохозяйственного использования относятся все виды торфа верхового типа, за исключением шейхцериевого (пригоден для культивирования клюквы); к малопригодным – низинные моховые торфа; к пригодным – низинные травяной и древесный; к оптимальным – низинный древесно-травяной и древесно-осоковый.

В последующем проведена экспериментальная проверка разработанной классификации в лабораторных условиях, которая подтвердила закономерное увеличение биохимической устойчивости торфов с увеличением содержания в них ГК как основного показателя биохимической устойчивости, в свою очередь, определяющего многие другие параметры состояния ОВ торфов и в связи с этим их доступность микробиологическому воздействию.

ВЫВОДЫ

1. Исследование взаимозависимостей свойств торфов показало их более сложный характер в торфах низинного типа. Наиболее значимые признаки, определяющие варьирование других свойств торфов, – содержание гуминовых кислот, липидов и зольность торфов. Степень разложения и содержание углеводов в торфах не являются адекватным отражением уровня гумификации ОВ торфов.

2. Основные параметры биохимической устойчивости торфов – высокое содержание гуминовых кислот, низкая обогащенность ОВ углеводами и азотом (C/N), гуматный тип гумуса ($C_{гк}/C_{фк}$).

3. В структуре классификации торфов сельскохозяйственного назначения основными параметрами определились общее содержание ГК в ОВ и кислотность торфа; в качестве дополнительных для низинных торфов – зольность и содержание в золе оксидов железа, фосфора, серы и кальция. Экспериментальная проверка параметров классификации доказала правомерность предложенных параметров в качестве базовых. Использование торфов без учета их свойств приводило к отрицательным результатам и последующей потере интереса к этому сырью. Вместе с тем научный подход в использовании торфяных ресурсов как сырья для применения в сельском хозяйстве позволит вывести отрасль на качественно новый уровень.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Субботин А. На грани истощения // Еженедельная газета научного сообщества РАН “Поиск”. – 2015. – № 1–2. – С. 8–9.
2. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Терентьев А.А. Физика и химия торфа. – М.: Недра, 1989. – 150 с.
3. Матухин П.Г., Матухина В.Г., Васильев И.П., Михантьева Л.С. и др. Классификация торфов и торфяных залежей Западной Сибири // Проблемы комплексного изучения, рационального использования, структура геологической службы по торфу и сапропелю. – Н. Новгород, 1999. – С. 56–60.
4. Нейштадт М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – М.: Наука, 1977. – С. 39–48.
5. Инишева Л.И., Дементьева Т.В. Интенсивность трансформационных процессов в торфах разного ботанического состава // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1998. – № 3–4. – С. 18–23.
6. Дементьева Т.В., Инишева Л.И. О формах азота в западносибирских торфах // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2001. – № 4. – С. 16–21.

7. **Замятина Б.Б.** Методы определения азота в почве // *Агрохимические методы исследования почв*. – М.: Наука, 1975. – С. 94–95.
8. **Пономарева В.В., Николаева Т.А.** Методы изучения органического вещества в торфо-болотных почвах // *Почвоведение*. – 1961. – № 5. – С. 88–95.
9. **Садовский В.Н.** Основания общей теории систем. – М.: Наука, 1974. – 279 с.
10. **Харман Г.** Современный факторный анализ. – М.: Статистика, 1972. – 86 с.
11. **Драгунов С.С., Каблова Н.Г.** Биохимическая группировка торфов с целью их использования в сельском хозяйстве // *Почвоведение*. – 1973. – № 8. – С. 75–80.
12. **Бамбалов Н.Н., Бельская Т.Я.** Содержание и состав углеводов в целинных и мелиорированных торфяных почвах // *Почвоведение*. – 1993. – № 12. – С. 87–91.
13. **Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д.** Деградация и эволюция торфяников при сельскохозяйственном использовании (теория и практика рационального использования) // *Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения: тез. докл. Всерос. конф. (Москва, 16–18 июня 1998 г.)*. – М., 1998. – Т. 1. – С. 129–131.
14. **Hant H.W.** A simulation model for decomposition in grasslands // *Ecology*. – 1977. – Vol. 58. – P. 469–484.
15. **Jenkinson D.S.** Studies on the decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ^{14}C -labelled ryegrass decomposing under field conditions // *J. Soil Science*. – 1977. – Vol. 28. – P. 424–434.
16. **Murayama S.** Decomposition kinetics of strawsaccharides and synthesis of microbial saccharides under field conditions // *J. Soil Science*. – 1984. – Vol. 35. – P. 231–242.
17. **Инишева Л.И., Ласукова Т.В., Ларина Г.В.** Особенности гуминовых кислот западносибирских торфов // *Вестн. КемГУ*. – 2014. – № 3. – С. 60–65.
18. **Рожков В.А.** Почвенная информатика. – М.: Агропромиздат, 1989. – 229 с.
19. **Статистические методы для ЭВМ** / под ред. К. Энслейна, Э. Рэлстона, Г.С. Уилфа. – М.: Наука, 1986. – 464 с.

Поступила в редакцию 19.02.2015

**L.I. INISHEVA, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Laboratory Head,
LECH. W. SZAJDAK*, Professor**

*Tomsk State Pedagogical University,
*Institute for Agricultural and Forest Environment, Polish Academy of Sciences
e-mail: inisheva@mail.ru*

ON THE ISSUE OF CHEMICAL CLASSIFICATION OF PEATS FOR THE AGRICULTURAL USE

Based on studying general-technical, agrochemical and chemical properties of peats and on choosing significant parameters, the classification of peats was developed to be efficiently used in agriculture. It is shown that the parameters of peats differ within not only types but also species. The conditions and depth of peat deposits also influence the chemical composition of peats, intensifying or changing the direction of biochemical processes. For the purpose of classification, 142 peat samples were selected, and they received the chemical analysis. Each peat species as to the botanical composition was presented by 6 to 12 samples. The composition of organic matter of West Siberian peats was analyzed, and their particularities were determined. Based on the correlation analysis has been revealed that the significant parameters of the organic composition of peats studied are total humic acids (HA), lipids, C/N ratio, and carbohydrates. This allows considering them as possible parameters of the agrochemical classification of peats. In order to develop the classification of peats, the systems method was used based on the analysis of holistic integrative characteristics of an object, detection of the object's various relationships and their structure. The correctness of the chosen parameters for the classification of peats was evaluated by the factor analysis. The basic parameters of peat categorizations for agricultural purposes were found to be 1) total HA, and 2) pH. For fen peats, the categorization has been supplemented with the following parameters: ash content, and contents of oxides Fe_2O_3 , SO_3 , P_2O_5 and CaO in ash.

Keywords: peat, biochemical stability, parameters, classification, systems method, factor analysis.