

УДК 631.4

*В.В. Сироткин, С.В. Васюков, Б.М. Усманов***ИЗУЧЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛЕВЫХ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Использование экспресс-методов определения степени деградации почв является общемировым трендом. Многочисленные исследования говорят о возможности применения спектрометрических методов для определения содержания химических соединений в почве и определения на этой основе их степени деградации. Авторами предпринята попытка определения агрохимических показателей почв спектрометрическими методами для сельскохозяйственных почв суббореальной зоны востока Европейской равнины. Определены основные типы спектрограмм серых лесных почв, выщелоченных и оподзоленных черноземов, которые сопоставлены с данными агрохимических анализов в точках отбора проб почвы на ключевых полигонах, расположенных на территории Чувашской Республики. Проанализированы основные закономерности изменения показателей в зависимости от типа спектрометрических кривых. Результаты работы могут быть востребованы для экспресс-определения степени деградации сельскохозяйственных почв для данной природной зоны.

Ключевые слова: спектрограммы, деградация почв, агрохимические показатели, почвенные анализы.

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-71-82

Многочисленные почвенные исследования доказали, что в большинстве случаев почвенное плодородие земель сельскохозяйственного назначения ухудшается вследствие неадекватных методов ведения сельского хозяйства [1], водной эрозии, недостаточного или чрезмерного внесения удобрений. Последнее также приводит к загрязнению подземных и поверхностных вод или накоплению химических веществ в опасных концентрациях в почве. Разработка принципов использования сельскохозяйственных земель, не допускающих подобных крайностей, является главной целью так называемой концепции точного земледелия, которая направлена на обеспечение необходимого количества питательных веществ и влажностных характеристик в почве, необходимых для поддержания оптимального роста сельскохозяйственных растений. Одним из главных препятствий для применения данной концепции является неоднородность почвенного покрова, зачастую даже в пределах одного земельного участка. Вследствие этого даже при технической возможности выполнения широкого спектра анализов и определения плодородности почвы по различным методикам [2] большинство из них достаточно трудоемки и на практике не позволяют сопоставить свойства почвенного покрова сельскохозяйственных земельных участков с необходимым пространственным и/или временным разрешением. Коллективом авторов предлагается разработка экспресс-метода определения параметров плодородия почв для земель сельскохозяйственного назначения, базирующихся на спектроскопических физических принципах. Методы инфракрасной спектроскопии, уже давно признанные одними из наиболее перспективных методов изучения почв [3; 4], основаны на взаимодействии молекул с электромагнитной энергией в инфракрасной области спектра. Особенностью среднего инфракрасного диапазона является то, что он включает в себя так называемые фундаментальные колебания молекул. Когда молекула поглощает ИК излучение на частотах, соответствующих собственным колебаниям молекул, это приводит к увеличению амплитуды колебаний. Так как каждая частота соответствует определенному количеству энергии и удельному движению молекул (например, растяжение, изгиб химических связей), в среднем ИК-спектре можно выявить вид молекулярных движений и функциональные группы, которые присутствуют в молекуле, следовательно, данная информация может служить в качестве уникальной характеристики почвы, также как отпечаток пальца человека в дактилоскопии.

Технологические достижения при исследованиях возможности применения ближней и средней инфракрасной области спектра в течение последнего десятилетия сделали этот спектральный диапазон очень востребованным в почвенных исследованиях и одним из перспективнейших бесконтактных способов определения почвенных параметров для различных целей. Задачи, решаемые с помощью данных методов в области почвенных исследований, чаще всего сводятся к использованию их для оценки микроэлементов и органических веществ почвы. Такие минеральные элементы почвы, как С, N, P, K, S, Ca и микроэлементы играют первостепенную роль в развитии сельскохозяйственных культур и, следовательно, определение их концентраций имеет решающее значение

для применения концепции точного земледелия. В зарубежной научной литературе имеется достаточно большое количество публикаций на эту тему. Один из наилучших обзоров исследований по данному направлению с помощью спектрометрических методов подготовлен коллективом авторов [5]. При этом наиболее распространенным подходом является поиск корреляционных связей между содержанием элемента и показателем спектральной яркости. В подавляющей части исследований отмечаются сильные корреляционные связи (более 0,9) между содержанием органического углерода в почве и показателем спектральной яркости. Также высокие значения ($R > 0,80$) были получены для общего содержания азота. Хотя для нитратов R.A. Rossell и др. (2006) не выявили корреляции [5], этот вывод опровергается сильными корреляционными связями со спектральной яркостью, полученными другими коллективами авторов [6-8]. Применительно к калию, фосфору и органическим веществам были получены противоречивые результаты. В исследованиях I. Bertrand и др. [9], а также C.W. Du и др. [10] коэффициент корреляции для концентрации калия равнялся 0,85. В некоторых работах отмечаются более низкие ($R=0,6$ [3] и $R=0,76$ [11]) коэффициенты корреляции. Высокая степень связи отмечается для фосфора – $R=0,87$ [12] и $R=0,81$ [13]. Несмотря на значимые результаты для органических веществ [13; 14] со значениями коэффициентов корреляции выше 0,90, очень слабая корреляция между спектрами и содержанием органического вещества была определена J.C. Canasveras и др. (2010) [15]. Таким образом, на сегодняшний день современное состояние исследований в данной области носит несколько противоречивый характер. По всей видимости, имеется необходимость стандартизации пробоотбора и анализов почвы, а также географическая локализация для конкретных типов и подтипов зональных почв [16]. В любом случае все зарубежные исследователи подчеркивают необходимость дальнейшего изучения свойств почвы данными методами с увеличением географического охвата исследуемых почв.

Коллективом авторов была поставлена перед собой задача разработки методики определения изменения количества химических элементов, критически важных для сельскохозяйственных растений, которые в том числе используются для оценки степени эродированности основных зональных почв Европейской территории России применительно к территории Чувашской Республики [17].

На сегодняшний день существует много классификаций эродированных почв, но все разнообразие методов определения эрозии можно сократить до четырех больших групп:

1. На основании морфологических различий эродированных почв, в том числе с учетом характера рельефа.
2. Методы учета содержания гумуса в эродированных почвах.
3. Методы, основанные на других химических, биологических или физико-химических изменениях в эродированных почвах.
4. Методы, которые используют несколько параметров, перечисленных выше.

В Советском Союзе была разработана стандартная классификация эродированных почв, опубликованная в «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования», согласно которой за основу было взято значение смывистости различных почвенных горизонтов для определения степени эрозии почв. В некоторых классификациях используются рельефные характеристики (наклон, длина, экспозиция, расчленение склона), тип почвообразующих пород, эрозионная стойкость почв [18; 19]. Следует отметить, что эти данные почвенного исследования Чувашской Республики, обновление которых в последний раз происходило в 1980-х гг., до сих пор используются при кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения в качестве основы для начисления налогов, расчета цены выкупа земельных участков, определения размера штрафов. Кроме того, данные критерии почвенного покрова используются для определения значительного снижения плодородия сельскохозяйственных земель с целью последующего принудительного изъятия земельных участков сельскохозяйственного назначения у собственников в соответствии с российским законодательством [20; 21].

В отличие от геоморфологических показателей, легко описываемых с использованием технологии ГИС и внешних признаков эрозии, которые можно определить путем анализа данных дистанционного зондирования [22], агрохимические параметры почв (содержание гумуса, кислотность, содержание фосфора и калия и т.д.) очень динамичны и требуют непосредственного отбора образцов в полевых условиях и их последующего анализа лабораторными методами.

Поскольку сеть репрезентативных точек отбора проб должна быть достаточно плотной, требуется разработка доступных, недорогих и быстрых методов определения изменений агрохимических признаков почвы [23; 24]. Авторами представлены некоторые результаты спектрографических исследований зональных почв на территории Чувашской Республики.

Материалы и методы исследований

Полевые обследования проводились с помощью ручного спектрометра Handheld 2 и GPS оборудования геодезического класса. Параллельно со спектрометрической съемкой производился отбор почвенных образцов с целью их последующего лабораторного исследования на основные агрохимические показатели (гумус¹, подвижный фосфор², подвижный калий², сумма поглощенных оснований³, гидролитическая кислотность⁴, рНводн.⁵). Для систематизации и определения зависимостей между типом спектрограмм, агрохимическими показателями и структурой почвенного покрова была произведена актуализация почвенного картографического материала в масштабе 1: 10000 в полевых условиях. Работа состояла из двух блоков исследований: 1. Определение спектрометрических характеристик почв на участках многолетнего пробоотбора агрохимических показателей – спектрометрическая разведка. 2. Детальное исследование спектрометрических свойств почв по регулярной сетке на нескольких полигонах для определения влияния эрозии на спектрометрические показатели.

Для решения первой задачи были использованы данные Федеральной организации «Государственный центр агрохимической службы «Чувашский», организованные на хорошо изученных почвенных участках с различными типами почв (табл. 1), где были произведены спектрометрические исследования. Работа представляет собой попытку восполнить определенный пробел подобного типа исследований для зональных почв суббореального пояса восточной части Русской равнины. В исследование попали основные зональные типы почв Чувашской Республики, но наиболее детально исследовались различные разновидности серых лесных почв и черноземов оподзоленных. Все обследуемые почвы подвергаются многолетней сельскохозяйственной обработке. Полевые исследования (пробоотбор и спектрометрические измерения) проводились в весенний период, до появления большого количества фитомассы сельскохозяйственной растительности, с целью снизить влияние растительности на качество спектрометрической съемки.

Таблица 1

Описание различных типов почв в контрольных точках

Номер точки замера	Тип почв	Гранулометрический состав	Место отбора	Смыв, т /га/год			Смытость
				ливневыми осадками	талыми водами	Всего	
1	светло-серые лесные	тяжелосугл.	пашня	13,502	2,708	16,210	слабая
2	светло-серые лесные	тяжелосугл.	пашня	8,247	1,061	9,309	средняя
3	темно-серые лесные	тяжелосугл.	пашня	3,375	0,306	3,681	слабая
4	типичные серые лесные	тяжелосугл.	пашня	7,314	1,152	8,466	средняя
5	черноземы оподзоленные	тяжелосугл.	пашня	3,884	0,358	4,242	слабая
6	черноземы оподзоленные	тяжелосугл.	пашня	2,749	0,338	3,087	слабая
7	черноземы оподзоленные	тяжелосугл.	пашня	3,095	0,308	3,403	слабая
8	черноземы оподзоленные	тяжелосугл.	пашня	3,095	0,308	3,403	слабая
9	черноземы оподзоленные	тяжелосугл.	пашня	3,111	0,239	3,350	слабая
10	типичные серые лесные	тяжелосугл.	многолетние травы	0	0	0	—
11	светло-серые лесные	среднесугл.	пашня	1,793	0,120	1,913	слабая
12	типичные серые лесные	тяжелосугл.	пашня	5,243	0,753	5,996	слабая

¹ ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 8 с.

² ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

³ ГОСТ 27821-88 Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. 6 с.

⁴ ГОСТ 26212-91 Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. 6 с.

⁵ ГОСТ 11623-89 Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности. М.: Государственный комитет СССР по управлению Качеством продукции и стандартам, 1989. 6 с.

Результаты апробирования методики полевых спектрометрических исследований характеристик почв

Светло-серые лесные почвы. Характер и форма спектрографической кривой слабо и среднесмытых почв, как правило, схожи и имеют асимметричную форму параболической кривой с тремя четко определенными пиками спектральной яркости для длин волн приблизительно 250 нм (маленький пик) и 400 и 460 нм (высокие пики) и один желоб при 358 нм. По-видимому, этот характер кривой характерен для светло-серых лесных почв в целом (рис. 1, спектрограмма 00019, 00020, 00191, 00192).

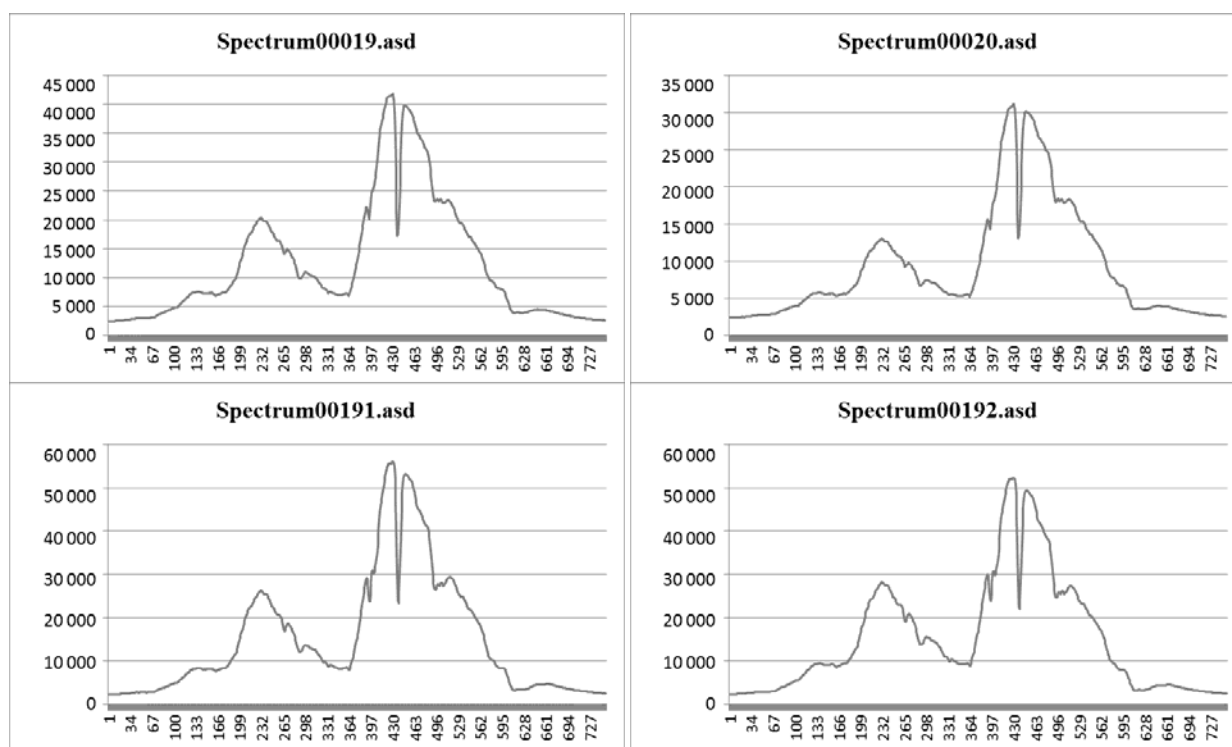


Рис. 1. Спектрографические кривые для слабогумусированных почв
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

При сравнении кривых для почв с различной степенью эрозии, выявляется следующая закономерность: для слабосмытых почв спектральная яркость «малого пика» составляет 25000 DN, а для средних – 20000 DN; значение больших пиков для слабосмытых почв составляет около 50000 DN, а для среднего только 40000 DN. Величина кривой впадины для слабосмытых почв составляет около 10000 DN, для среднесмытых – 5000 DN. Таким образом, с увеличением эрозии происходит уменьшение спектральной яркости на 5000–10000 единиц.

Типичные серые лесные почвы. Поскольку в выборку были включены только слабосмытые типичные серые лесные почвы, было невозможно проследить тенденции с изменением степени эрозии. Общий характер спектрографической кривой практически идентичен кривой для светло-серых лесных почв. Первый пик (250 нм) достигает спектральной яркости 15000–20000 DN. Желоб от 250 нм до 400 нм достигает минимальных значений при 5000 DN, падая на 10000–15000 DN. Спектральная яркость двух пиков (400–460 нм) достигает значений 35000–30000 DN. Вероятно, для типичных серых лесных почв тенденция изменения спектральной яркости с увеличением степени эрозии будет аналогична светло-серым лесным почвам.

Темно-серые лесные почвы. Общий характер кривой для данного подтипа почвы отличается от светло-серых и типичных серых лесных почв (рис. 2, спектрограмма 00171, 00172). Эта кривая также имеет три пика, но пик 250 нм является основным, в то время как пики 400 и 460 нм не столь очевидны. Между этими пиками нет впадины, но общее падение кривой между 250 и 400 нм, с четырьмя маленькими впадинами и четырьмя маленькими пиками. Кроме того, имеется небольшой пик на длине волны 130 нм с плоской формой на спектрограммах, который описывает типичные серые и светло-серые лесные почвы.

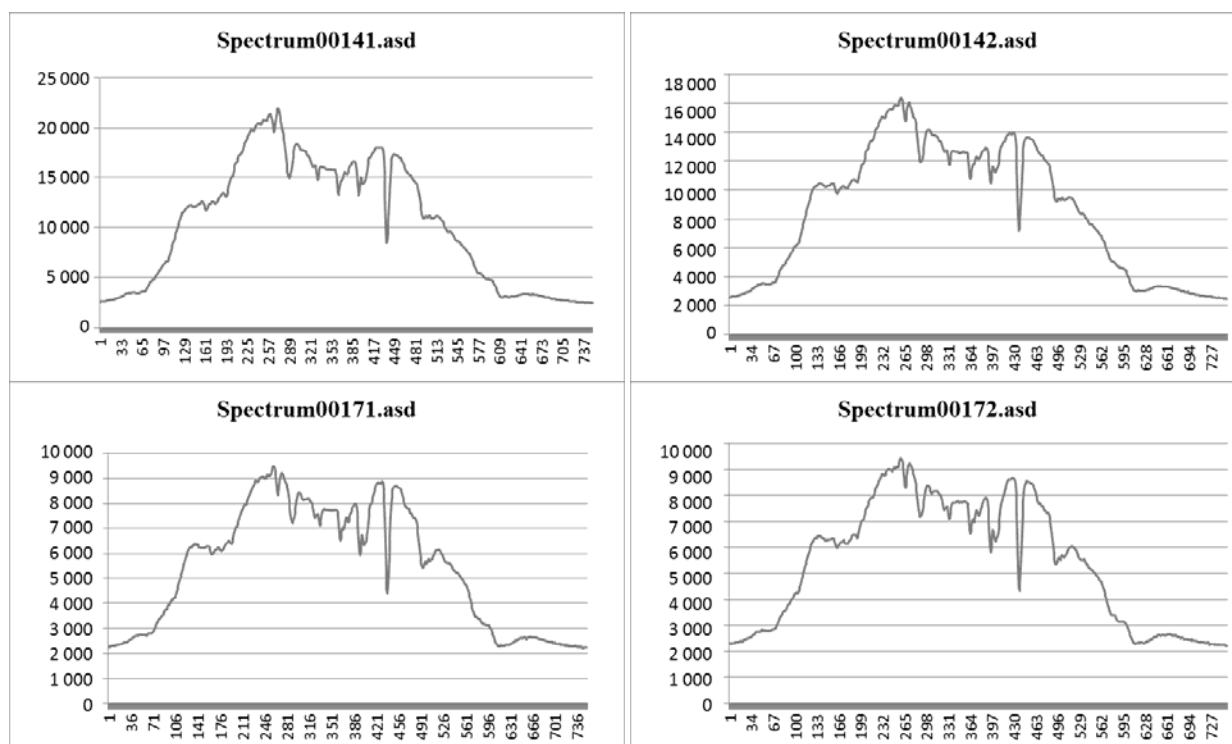


Рис. 2. Спектрографические кривые для сильно гумусированных почв
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

Анализируя кривые для почв с различной степенью эрозии, можно отметить следующие закономерности (рис. 3): спектральная яркость пика 130 нм падает с увеличением эрозии с 8000 DN (несмытые) до 7000 DN (среднесмытые); основной пик (250 нм) приходится на 3000 DN – от 11500 DN до 8500 DN; пики (400–460 нм) уменьшились с 10000 DN (несмытые) до 6500 DN (среднесмытые). Падение между пиками 250 нм и 400–460 нм также изменяется – с увеличением эрозии оно спектральная яркость снижается на 2000 DN для несмытых почв и всего на 1000 DN для среднесмытых. Общая тенденция изменения спектральной кривой – это уменьшение спектральной яркости с увеличением эрозии, но оно неравномерно по всей длине спектра – от 1000 DN в пике (130 нм) и впадине (250–400 нм) до 3000–3500 DN на основных пиках (250 нм, 400–460 нм).

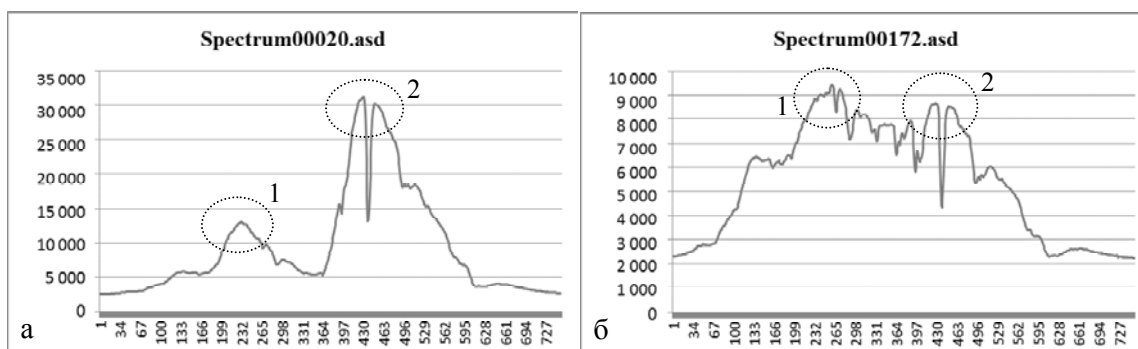


Рис. 3. Различия в линиях графика для слабо (а) и сильно (б) гумусированных почв
(числа являются типами пиков)

Подзолистый чернозем. Общий вид спектрографической кривой аналогичен темно-серым лесным почвам, но есть определенные различия. Передний пик 130 нм гораздо более выражен и представлен экстремумом с высотой 1000 DN. Основной пик (250 нм) наиболее выдающийся на всей спектрограмме и достигает 16000–20000 DN, два других пика (400–460 нм) значительно меньше – 15000–13000 DN (рис. 2, спектрограмма 00141,00142). Там нет впадины 250–400 нм, но отмечается общее падение кривой между 250 и 400 нм, с четырьмя небольшими впадинами и четырьмя неболь-

шими пиками на 1000–2000 DN. Поскольку образец включал только слабосмытые подзолистые черноземы, он не позволил отследить тенденции в изменении степени эрозии. Тем не менее, в связи с тем, что общий вид спектрографической кривой для подзолистых черноземов аналогичен темно-серым лесным почвам, можно предположить, что закономерности, связанные с изменением степени эрозии, также будут аналогичными.

Результаты крупномасштабной, регулярной съемки на отдельных полигонах

В исследование попали серые лесные почвы и черноземы выщелоченные. Все обследуемые почвы подвергаются многолетней сельскохозяйственной обработке. Для проведения полевых работ выбраны несколько типичных ареалов распространения почв на территории Чувашской Республики (Комсомольский и Цивильский муниципальные районы). Полученные спектрометрические данные (спектрограммы) были систематизированы по типу кривых и соотнесены с типами и разновидностями почв и их агрохимическими показателями. Всего в исследуемых ареалах нами было выделено 5 типов спектрографических кривых с различным распределением по разновидностям почв (рис. 4-8).

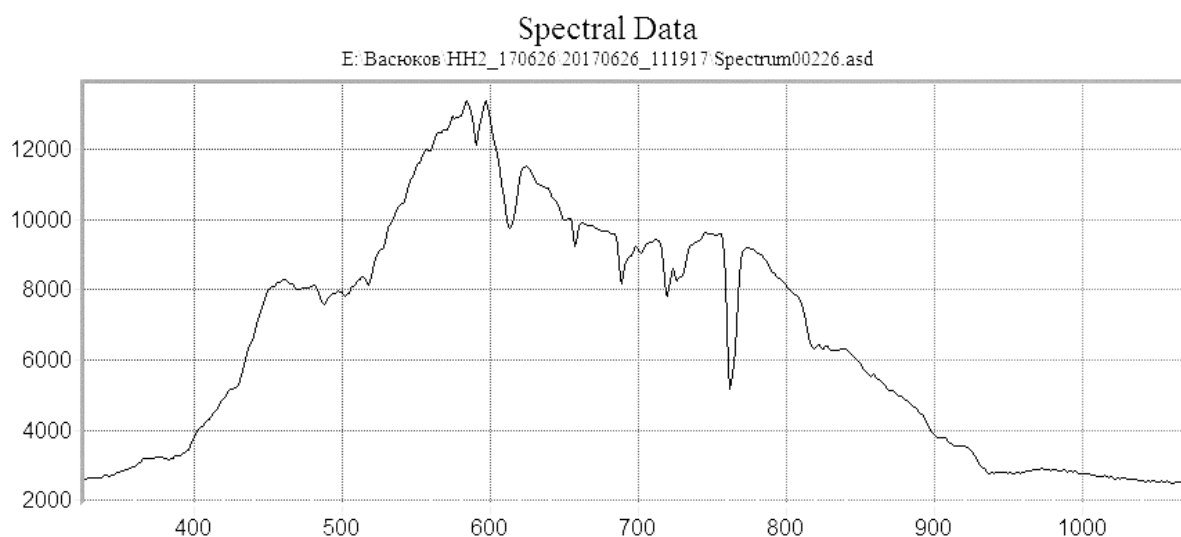


Рис. 4. Тип спектрограммы № 1, характерной для чернозёма выщелоченного среднemosного среднегумусного, темно-серой лесной слабосмытой почвы
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

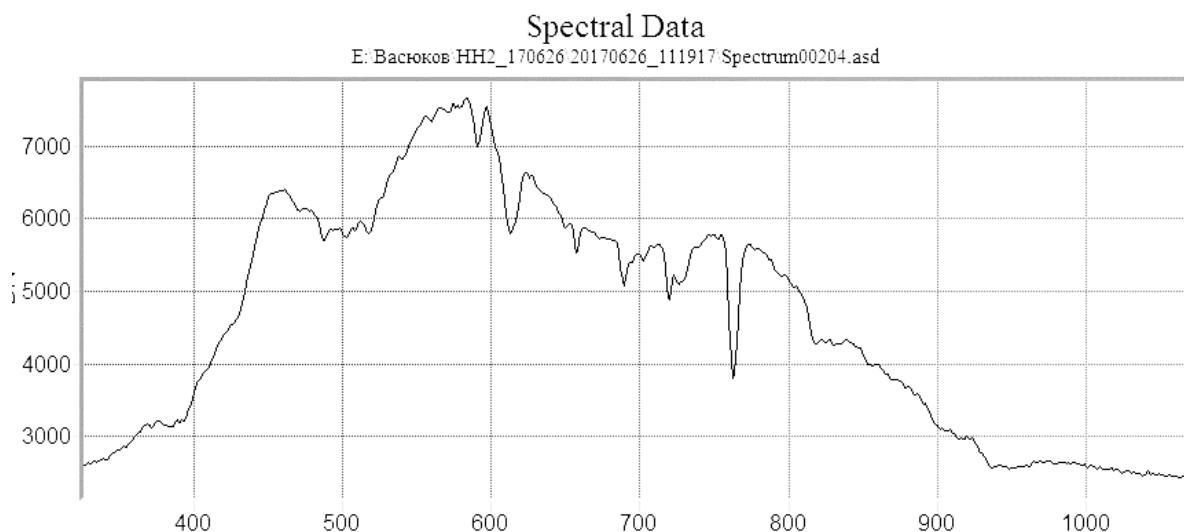


Рис. 5. Тип спектрограммы № 2, представленной для среднесуглинистого чернозёма выщелоченного слабосмытого, чернозёма выщелоченного слабосмытого, темно-серой лесной грунтово-глеевой легкого механического состава
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

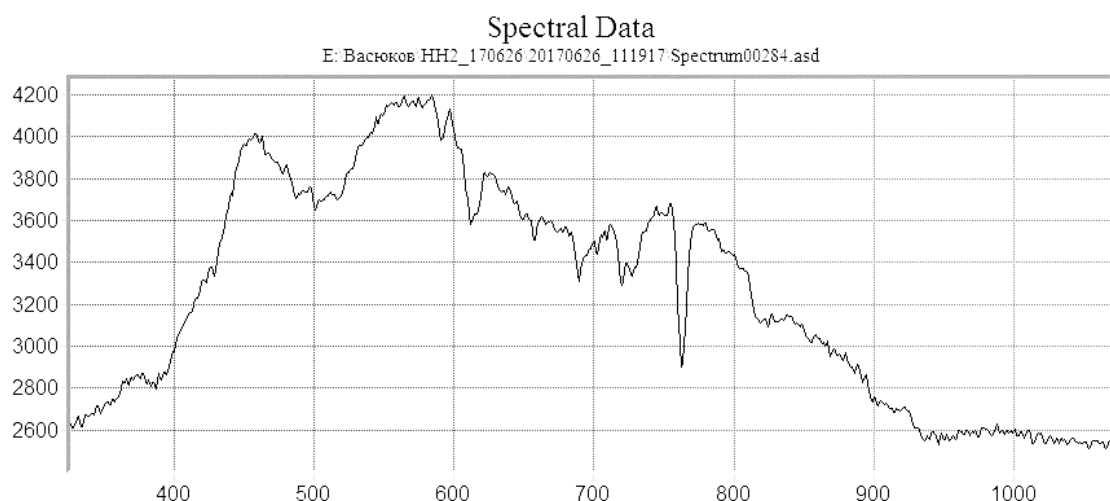


Рис. 6. Тип спектрограммы № 3, представленной для чернозёма выщелоченного среднемогучного среднегумусного, тёмно-серой лесной среднесмытой почвы
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

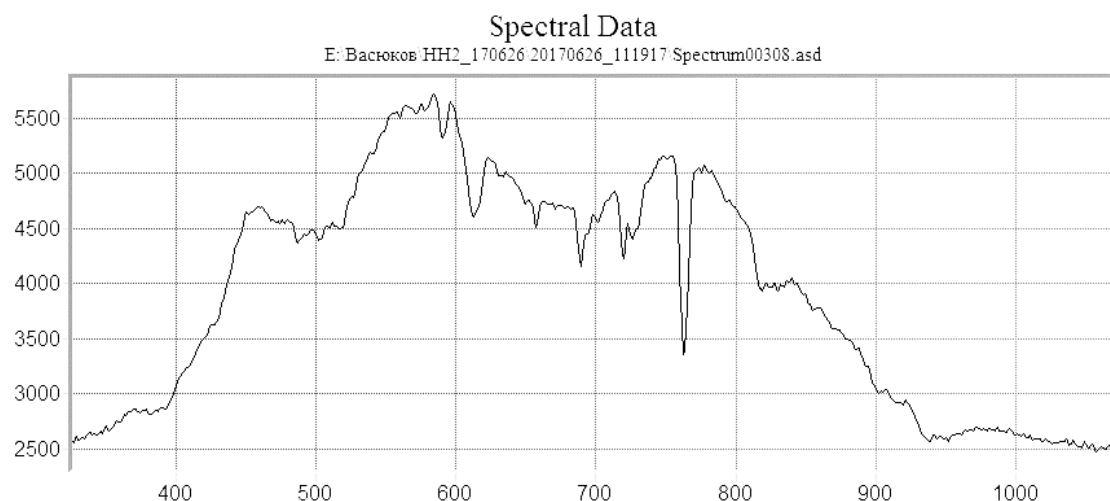


Рис. 7. Тип спектрограммы № 4, представленной для тёмно-серой лесной среднесмытой почвы, чернозёма выщелоченного маломощного среднегумусного
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

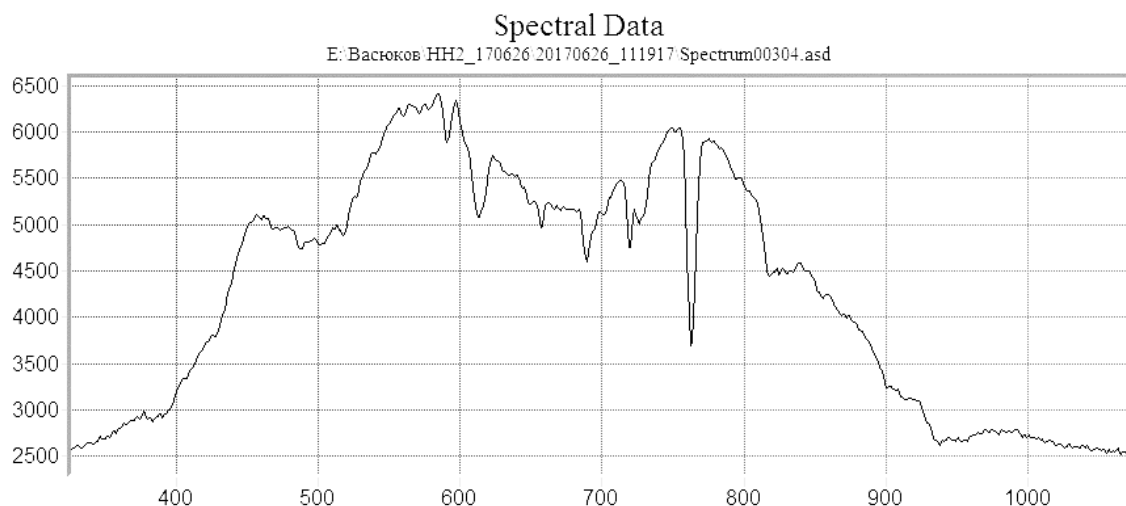


Рис. 8. Тип спектрограммы № 5, представленной для тёмно-серой лесной сильносмытой почвы
Ось X – длина волны, нм; Ось Y – спектральная яркость, DN

Для изучения зависимостей типа спектрограмм от агрохимических показателей (гумус, подвижный фосфор, подвижный калий, $pH_{\text{водн}}$) их значения были сопоставлены между собой в точках пробы, имеющих разные типы спектрограмм. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение агрохимических показателей по типам спектрограмм

Точки полигонов спектрограмм	Наименование пробы	Лабораторный номер	Тип спектрограмм	Органическое вещество (гумус), %	Подвижный фосфор, мг/кг	Подвижный калий, мг/кг	pH (H ₂ O)
1039	почва №1	129	1	4,9	131	167	5,86
1032	почва №2	130	1	6,94	88	123	5,92
1027	почва №3	131	1	6,36	95	111	5,99
1061	почва №4	132	2	7,17	80	85	6,07
1015	почва №5	133	1	6,69	71	87	5,93
1048	почва №8	136	1	6,21	97	83	5,71
1053	почва №13	141	2	6,52	125	106	6,2
1112	почва №4	154	4	4,65	207	89	5,44
1115	почва №5	155	4	4,82	277	162	5,55
1106	почва №9	159	1	5,2	218	109	5,65
1099	почва №10	160	3	5,36	210	125	5,68
1066	почва №370	167	1	4,54	283	129	5,91
1080	почва №371	168	3	4,73	222	102	5,92
1075	почва №373	169	1	5,57	256	171	5,93
1076	почва №372	170	1	5,7	262	148	5,91

Анализ не дал четких закономерностей для всех типов спектрограмм, кроме спектрограммы № 4, где было примерно одинаковое количество органического вещества (гумуса, %). В остальных типах спектрограмм распределение агрохимических показателей внутри каждого типа не показало каких-то определенных зависимостей. Распределение агрохимических показателей между типами спектрограмм тоже не выявило четкой закономерности, за исключением спектрограммы № 4. Для данного типа спектрограммы имеется четкая связь с пониженным количеством гумуса. Данная зависимость по всей видимости объясняется тем, что данный тип спектрограмм был представлен для типов почв, имеющих признаки средней степени смытости.

При визуальном анализе шкал разных типов спектрограмм и сравнении их с разновидностями почв удалось выявить одну интересную закономерность. Разные типы спектрограмм имеют разную спектральную яркость и разные интервалы в единицах яркости между пиками на кривой спектрограммы. При этом прослеживается следующая закономерность, спектральная яркость значительно выше и интервалы между пиками кривой спектрограммы в единицах яркости значительно больше для тех почв, которые относятся к несмытым разновидностям. Так, если для спектральной кривой № 1 максимальная яркость достигает 13000 единиц, а расстояние между пиками кривой – 4000–5000 единиц, то для спектрограммы № 3 максимальная яркость всего 4200 единиц, а расстояние между пиками кривой 200–300 единиц.

Если перевести все типы кривых спектрограмм к одному масштабу по оси ординат (на ней отображается спектральная яркость), то при похожих типах кривых амплитуда яркости для типа № 2, типа № 3, типа № 4 будет меньше типа № 1, более чем в 2 раза в спектральных единицах яркости.

Таким образом, становится возможным по типам спектральных кривых, их спектральной яркости определять степень смытости почвенного покрова для серых лесных почв и черноземов суббореального пояса востока Европейской России. Для этого необходимо иметь два эталонных участка почвенного покрова: один несмытый – он будет иметь максимальную амплитуду яркости и максимальные перепады между пиками кривой в спектральных единицах яркости, и второй – средне или сильно смытый – амплитуда его кривой и перепады между пиками кривой при схожем рисунке будут минимальными. График будет как бы сжат относительно спектральной кривой для несмытой почвы. Для проведения полевых работ по определению степени смытости почвенного покрова необходимо построить спектрометр на единую шкалу измерения спектральной яркости и проводить контрольные

отборы почвенных образцов с целью их дальнейшего лабораторного исследования для снижения погрешности определения.

Заключение

1. При сравнении спектрограмм для всех рассмотренных типов и подтипов почв (светлые серые лесные, темно-серые лесные, типичные серые лесные, черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные) с различной степенью эрозии с результатами агрохимических исследований выявлена довольно отчетливая закономерность – изменение типа спектрографической кривой при изменении степени содержания гумуса в почве.

В контексте изучаемых почв условно можно выделить два основных типа спектрографической кривой – для слабогумусированных (рис. 1) и сильногумусированных (рис. 2) почв. Основной пик с длиной волны 250 нм фактически является маркером содержания гумуса, поэтому необходимо сравнить его с двумя пиками 400 нм и 460 нм (рис. 3). Также важно наличие небольшого пика (130 нм) или уступа вместо него. Тенденция такова: чем меньше гумусирована почва, тем больше два пика поднимаются выше пика 250 нм. Различия в высоте могут достигать 2–2,5 раза (спектральная яркость в DN) для светло-серых лесных почв. И наоборот, чем более гумусированной является почва, тем больше основной пик поднимается выше двух пиков 400–460 нм. Здесь различия могут достигать 1,15–1,3 раза для подзолистых черноземов. Для получения статистически значимой картины необходимо вовлекать значительное количество проб с однородного почвенного покрова, простое механическое смешение показателей с разных почв не позволяет выявить статистически значимые связи между агрохимическими показателями и спектральными характеристиками почвы. Судя по всему, данное обстоятельство вызвано разными почвенными процессами в разных почвах и различным генезисом почв, что также подтверждается значительной вариацией степени корреляционной связи между одинаковыми парами анализируемых данных у различных почв. Соответственно, для автоматизации процесса будет необходимо достаточно большое количество проб для конкретной почвенной разновидности, в пределах одной природной зоны и, по всей видимости, без первичного накопления данных сведений статистически значимые алгоритмы будут работать на достаточно небольшой территории.

2. По типу кривой и ее спектральной яркости становится возможным определение степени смытости почвенного покрова при дополнительной верификации спектрометрических материалов данными лабораторных почвенных анализов. При соответствующей апробации данного подхода к определению смытости в разных почвенных ареалах различной степени смытости и накоплении соответствующих данных становится возможным проводить подобные исследования с минимальным воздействием на почвы, с максимальной скоростью и значительной экономией материальных ресурсов на эти исследования, что позволит вовлечь более значительные ареалы почв в данный вид работ.

3. Полученные результаты достаточно четко говорят о статистически значимых связях между определенными группами агрохимических показателей (гумус) для почвенных разновидностей, что позволит при накоплении соответствующих данных по конкретным почвам автоматизировать данный процесс.

Объективность дальнейших исследований требует увеличения количества точек наблюдения для определения характера взаимосвязей между спектрографическими кривыми и агрохимическими параметрами почв.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gobeille A., Yavitt J., Stalcup P., Valenzuela A. Effects of soil management practices on soil fertility measurements on *Agave tequilana* plantations in Western Central Mexico // *Soil and Tillage Research*. 2006. Vol. 87. Iss. 1. P. 80-88.
2. Idowu O.J., van Es H.M., Abawi G.S., Wolfe D.W., Ball J.I., Gugino B.K., Moebius B.N., Schindelbeck R.R., Bilgili A.V. Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods // *Plant and Soil*. 2008. Vol. 307. Iss. 1. P. 243-253.

3. McCarty G.W., Reeves J.B. Comparison of NFAR infrared and mid infrared diffuse reflectance spectroscopy for field-scale measurement of soil fertility parameters // *Soil Science*. 2006. Vol. 171. Iss. 2. P. 94-102.
4. Cécillon L., Barthès B.G., Gomez C., Ertlen D., Genot V., Hedde M., Stevens A., Brun J.J. Assessment and monitoring of soil quality using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) // *European Journal of Soil Science*. 2009. Vol. 60. Iss. 5. P. 770-784.
5. Rossel R.A.V., Walvoort D.J.J., McBratney A.B., Janik L.J., Skjemstad J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties // *Geoderma*, 2006. Vol. 131. Iss1. P. 59-75.
6. Linker R., Kenny A., Shaviv A., Singher L., Shmulevich I. Fourier transform infrared-attenuated total reflection nitrate determination of soil pastes using principal component regression, partial least squares, and cross-correlation // *Applied Spectroscopy*. 2004. Vol. 58. Iss. 5. P. 516-520.
7. Borenstein A., Linker R., Shmulevich I., Shaviv A. Determination of soil nitrate and water content using attenuated total reflectance spectroscopy // *Applied Spectroscopy*. 2006. Vol. 60. Iss. 11. P. 1267-1272.
8. Jahn B.R., Linker R., Upadhyaya S.K., Shaviv A., Slaughter D.C., Shmulevich I. Mid-infrared spectroscopic determination of soil nitrate content // *Biosystems Engineering*. 2006. Vol. 94. Iss. 4. P. 505-515.
9. Bertrand I., Janik L.J., Holloway R.E., Armstrong R.D., McLaughlin M.J. The rapid assessment of concentrations and solid phase associations of macro- and micronutrients in alkaline soils by mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy // *Australian Journal of Soil Research*. 2002. Vol. 40. Iss. 8. P. 1339-1356.
10. Du C.W., Zhou J.M., Wang H.Y., Mang J.B., Zhu A.N. Study on the soil mid-infrared photoacoustic spectroscopy // *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 2008. Vol. 28. Iss. 6. P. 1242-1245.
11. Reeves J.B., Smith D.B. The potential of mid- and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for determining major- and trace-element concentrations in soils from a geochemical survey of North America // *Applied Geochemistry*. 2009. Vol. 24. Iss. 8. P. 1472-1481.
12. Janik L.J., Forrester S.T., Rawson A. The prediction of soil chemical and physical properties from mid-infrared spectroscopy and combined partial least-squares regression and neural networks (PLS-NN) analysis // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2009. Vol. 97. Iss. 2. P. 179-188.
13. Du C.W., Zhou J.M., Wang H.Y., Chen X.Q., Zhu A.N., Zhang J.B. Determination of soil properties using Fourier transform mid-infrared photoacoustic spectroscopy // *Vibrational Spectroscopy*. 2009. Vol. 49. Iss. 1. P. 32-37.
14. Masserschmidt I., Cuelbas C.J., Poppi R.J., De Andrade J.C., De Abreu C.A., Davanzo C.U. Determination of organic matter in soils by FTIR/diffuse reflectance and multivariate calibration // *Journal of Chemometrics*. 1999. Vol. 13. P. 265-273.
15. Canasveras J.C., Barron V., del Campillo M.C., Torrent J., Gomez J.A. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy // *Geoderma*. 2010. Vol. 158. Iss. 1-2. P. 78-84.
16. Sirotkin V., Vasyukov S., Usmanov B. Evaluation of soil erosion in the forest-steppe zone of eastern European Russia by hydrophysical and spectroradiometric indicators // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19. Iss. 32. P. 179-186.
17. Sirotkin V., Vasyukov S., Usmanov B. Spectrographic characteristics of Chuvash Republic zonal soils with different erosion degrees // *Water resources, forest, marine and ocean ecosystems conference proceedings, SGEM*. 2016. Book 3. Vol. II. P. 357-362.
18. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 257 с.
19. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. С. 244.
20. Федеральный закон от 24.07.2002 № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения».
21. Постановление Правительства РФ от 22.07.2011 № 612 «Об утверждении критериев существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения».
22. Васюков П.В., Васюков С.В., Сироткин В.В. Дистанционное определение гидрофизических параметров почв на основе использования космических снимков высокого разрешения Landsat // *Изв. Смоленского гос. ун-та. Ежеквартальный журнал*. Смоленск, 2010. № 4 (12). С. 46.
23. Sirotkin V., Vasyukov S., Usmanov B. The possibility of using spectrographic data to assess soils fertility // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2017. Vol. 17. Iss. 32. P. 639-646.
24. Sirotkin V.V., Vasyukov S.V., Usmanov B.M., Gajnutdinova G.F. Spectroscopic methods for determining of zonal soils erosion (Chuvash Republic, Russia) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 107. Iss. 1. Art. № 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012024.

Сироткин Вячеслав Владимирович, доктор географических наук,
профессор кафедры ландшафтной экологии
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, 5
E-mail: sirotkin67@rambler.ru

Васюков Сергей Владимирович, кандидат географических наук, начальник отдела землеустройства
и мониторинга земель, геодезии и картографии
Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии по Чувашской Республике
428009, Россия, г. Чебоксары, ул. Лебедева, 66
E-mail: vasyukovsv@gmail.com

Усманов Булат Мансурович, старший преподаватель кафедры ландшафтной экологии
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
420097, Россия, г. Казань, ул. Товарищеская, 5
E-mail: busmanof@kpfu.ru

V.V. Sirotkin, S.V. Vasyukov, B.M. Usmanov

STUDY OF SOIL PARAMETERS BASED ON FIELD SPECTROMETRIC DATA

DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-71-82

The use of express methods for assessing the degree of soil degradation is a global trend. Numerous studies suggest the possibility of using spectrometric methods for determination of chemical compounds content in soil and assessment of soil degradation. In this work, an attempt is made to determine the agrochemical parameters by spectrometric methods for agricultural soils of the subboreal zone of the eastern European Plain. The main types of spectrograms for gray forest soils and leached chernozems were determined and compared with the results of agrochemical analyzes at soil sampling points in the territory of the Chuvash Republic. The main regularities in indicators change depending on spectrometric curves type are analyzed. The results of the work can be claimed for express determination of agricultural soils degradation degree for a given natural zone.

Keywords: spectrograms, soil degradation, agrochemical indicators, soil analyzes.

REFERENCES

1. Gobeille A., Yavitt J., Stalcup P., Valenzuela A. Effects of soil management practices on soil fertility measurements on Agave tequilana plantations in Western Central Mexico, in *Soil and Tillage Research*, 2006, Vol. 87, Iss. 1, pp. 80-88.
2. Idowu O.J., van Es H.M., Abawi G.S., Wolfe D.W., Ball J.I., Gugino B.K., Moebius B.N., Schindelbeck, R.R., Bilgili, A.V. Farmer-oriented assessment of soil quality using field, laboratory, and VNIR spectroscopy methods, in *Plant and Soil*, 2008, Vol. 307, Iss. 1, pp. 243-253.
3. McCarty G.W., Reeves J.B. Comparison of NFAR infrared and mid infrared diffuse reflectance spectroscopy for field-scale measurement of soil fertility parameters, in *Soil Science*, 2006, Vol. 171, Iss. 2, pp. 94-102.
4. Cécillon L., Barthès B.G., Gomez C., Ertlen D., Genot V., Hedde M., Stevens A., Brun J.J. Assessment and monitoring of soil quality using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS), in *European Journal of Soil Science*, 2009, Vol. 60, Iss. 5, pp. 770-784.
5. Rossel R.A.V., Walvoort D.J.J., McBratney A.B., Janik L.J., Skjemstad J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties, in *Geoderma*, 2006, Vol. 131, Iss. 1, pp. 59-75.
6. Linker R., Kenny A., Shaviv A., Singher L., Shmulevich I. Fourier transform infrared-attenuated total reflection nitrate determination of soil pastes using principal component regression, partial least squares, and cross-correlation, in *Applied Spectroscopy*, 2004, Vol. 58, Iss. 5, pp. 516-520.
7. Borenstein A., Linker R., Shmulevich I., Shaviv A. Determination of soil nitrate and water content using attenuated total reflectance spectroscopy, in *Applied Spectroscopy*, 2006, Vol. 60, Iss. 11, pp. 1267-1272.
8. Jahn B.R., Linker R., Upadhyaya S.K., Shaviv A., Slaughter D.C., Shmulevich I. Mid-infrared spectroscopic determination of soil nitrate content, in *Biosystems Engineering*, 2006, Vol. 94, Iss. 4, pp. 505-515.
9. Bertrand I., Janik L.J., Holloway R.E., Armstrong R.D., McLaughlin M.J. The rapid assessment of concentrations and solid phase associations of macro- and micronutrients in alkaline soils by mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy, in *Australian Journal of Soil Research*, 2002, Vol. 40, Iss. 8, pp. 1339-1356.
10. Du C.W., Zhou J.M., Wang H.Y., Mang J.B., Zhu A.N. Study on the soil mid-infrared photoacoustic spectroscopy, in *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, Vol. 28, Iss. 6, pp. 1242-1245.

11. Reeves J.B., Smith D.B. The potential of mid- and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy for determining major- and trace-element concentrations in soils from a geochemical survey of North America, in *Applied Geochemistry*, 2009, Vol. 24, Iss. 8, pp. 1472-1481.
12. Janik L.J., Forrester S.T., Rawson A. The prediction of soil chemical and physical properties from mid-infrared spectroscopy and combined partial least-squares regression and neural networks (PLS-NN) analysis, in *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2009, Vol. 97, Iss. 2, pp. 179-188.
13. Du C.W., Zhou J.M., Wang H.Y., Chen X.Q., Zhu A.N., Zhang J.B. Determination of soil properties using Fourier transform mid-infrared photoacoustic spectroscopy, in *Vibrational Spectroscopy*, 2009, Vol. 49, Iss. 1, pp. 32-37.
14. Masserschmidt I., Cuelbas C.J., Poppi R.J., De Andrade J.C., De Abreu C.A., Davanzo C.U. Determination of organic matter in soils by FTIR/diffuse reflectance and multivariate calibration, in *Journal of Chemometrics*, 1999, Vol. 13, pp. 265-273.
15. Canasveras J.C., Barron V., del Campillo M.C., Torrent J., Gomez J.A. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy, in *Geoderma*, 2010, Vol. 158, Iss. 1-2, pp. 78-84.
16. Sirotkin V., Vasyukov S., Usmanov B. Evaluation of soil erosion in the forest-steppe zone of eastern European Russia by hydrophysical and spectroradiometric indicators, in *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2019, Vol. 19, Iss. 3.2, pp. 179-186.
17. Sirotkin V., S., Usmanov B. Spectrographic characteristics of Chuvash Republic zonal soils with different erosion degrees, in *Water resources, forest, marine and ocean ecosystems conference proceedings, SGEM*, 2016, Book 3, vol II, pp. 357-362.
18. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnosis of the USSR soils], Moscow: Kolos Publ., 1977, 257 p. (in Russ).
19. *Obshchesoynuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniya* [All-Union instruction on soil surveys and of large-scale land use soil maps development], Moscow: Kolos Publ., 1973, 244 p. (in Russ).
20. *Federal'nyy zakon «Ob oborote zemel' sel'skokhozyaystvennogonaznacheniya»* [Federal Law «On transfer of agricultural lands»], 24.07.2002 № 101-FL. (in Russ).
21. *Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii «Ob utverzhdenii kriteriyev sushchestvennogo snizheniya plodorodiya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya»* [Decree of the Government of the Russian Federation «On approval of the criteria for a significant reduction in agricultural lands fertility»], 22.07.2011, № 612. (in Russ).
22. Vasyukov P.V., Vasyukov S.V., Sirotkin V.V. [Remote determination of soils hydrophysical parameters based on the use of Landsat high-resolution satellite images], in *Izvestiya Smolenskogo Gos. Univ. Ezhekvertal'nyy zhurnal*. Smolensk, 2010, Vol. 4 (12), pp. 46. (in Russ).
23. Sirotkin V., Vasyukov S., Usmanov B. The possibility of using spectrographic data to assess soils fertility, in *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2017, Vol. 17, Iss. 32, pp. 639-646.
24. Sirotkin V.V., Vasyukov S.V., Usmanov B.M., Gajnutdinova G.F. Spectroscopic methods for determining of zonal soils erosion (Chuvash Republic, Russia), in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, Vol. 107, Iss. 1. Art. № 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012024/

Received 02.03.2020

Sirotkin V.V., Doctor of Geography, Professor of Landscape Ecology Department
Kazan Federal University
Tovarisheskaya st. 5, Kazan, Russia, 420097
E-mail: sirotkin67@rambler.ru

Vasyukov S.V., Candidate of Geography, Head of the Department of Land Management and Monitoring,
Geodesy and Cartography
Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Chuvash Republic
Lebedeva st., 66, Cheboksary, Russia, 420097
E-mail: vasyukovsv@gmail.com

Usmanov B.M., Senior lecturer at Department of Landscape ecology
Kazan Federal University
Tovarisheskaya st. 5, Kazan, Russia, 420097
E-mail: busmanof@kpfu.ru