

## ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТИПОВ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ

© 2015 г. Г. Ф. Копосов, А. А. Валеева

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, 18*

*e-mail: [gkoposov@mail.ru](mailto:gkoposov@mail.ru)*

Излагаются данные обобщения опубликованных и авторских результатов исследования серых и темно-серых почв Волжско-Камской лесостепи. Методами многомерного статистического анализа исследована классификационная структура лесостепных почв. Совокупность исследованных почв, описанная различными учеными в рамках классификационной схемы 1977 г. в соответствии с их индивидуальными предпочтениями, формализована применительно к классификационной системе 2004 г. Достоверные различия в гумусовом горизонте серых и темно-серых почв по классификации 2004 г. наблюдаются в содержании гумуса, обменных оснований, илистой фракции, кислотности и мощности гумусового горизонта, а также в мощности выщелоченной толще (до горизонта С) и запаса гумуса в метровой толще (т/га). Методами численной классификации получены дискриминантные функции и построены функции классификации серых и темно-серых почв Волжско-Камской лесостепи. На основании статистической обработки данных предложены лимиты свойств гумусового горизонта серых и темно-серых почв для выделения их в составе почв лесостепи под лесом. Образы зрительного восприятия, на которые опирается современная система разделения исследуемых почв на типы серых и темно-серых, дополнены лимитами варьирования основных их свойств, которые предлагаются для использования в практической работе исследователей почв и почвенного покрова. Представляемые результаты исследований обобщают и дополняют существующие представления о свойствах серых лесных почв. Предложенные критерии обособления серых почв лесостепи могут быть использованы для изучения и систематики почв, решения практических задач землепользования, создания региональной почвенной базы и в проектах экологической оптимизации территории.

*Ключевые слова:* серые почвы, темно-серые почвы, численная классификация, систематизация.

При создании схем разделения сообщества почв того или иного региона одной из труднейших проблем является установление однозначных границ между обосновываемыми таксономическими единицами. Как правило, авторы таких классификационных схем направляют усилия на обоснование центральных образов таксонов. В то же время почвенный покров, как правило, представляет собой континуум, т.е. образование из постепенно переходящих от одной к другой индивидуальных почвенных разностей, которые каждый исследователь расчленяет по-своему, создавая иерархию таксонов – групп почв, обладающих сходством строения профиля, составом минеральной основы, гумусированностью профиля и т.д.

В настоящей работе предпринята попытка объединения представлений многих исследователей почвенного покрова Волжско-Камской лесостепи, в частности в отношении почв, именуемых в старой классификационной схеме “серыми лесными”. Такая возможность появилась в связи с достижениями вычислительной техники, созданием соответствующих программ для нее и применения к запросам науки, посвященной изучению почв и почвенного покрова (Рожков, 1989, 2011, 2012).

Для этого создан реестр данных из 118 разрезов: материалы кафедры почвоведения КФУ; данные, опубликованные в открытой печати (Тюрин и др., 1935; Винокуров, Гришин, 1962; Иванова, 1968; Захаров, 1974, 2004; Шакиров, Арсланов, 1982; Газизуллин, 2005; Александрова и др., 2012). Они идентифицированы в старой классификационной схеме и отражают условия формирования описываемых почв в характерных для них элементам рельефа поверхности описываемой территории.

В табл. 1 представлены показатели строения профиля подтиповых таксонов серых лесных почв, как некоторое среднее из представлений перечисленных выше исследователей.

Важным показателем различий строения профиля подтипов является его текстурная дифференциация, которая отражается различиями в плотности и структурности образующих его горизонтов.

*Гранулометрический состав* почв тесно связан с таковым почвообразующих отложений, а с последними – закрепление органического вещества и создание наиболее благоприятной поч-

венной структуры (Кершенс, 1992; Ванюшина, Травникова, 2003; Артемьева 2010).

Так как текстурная дифференциация отражается в неравномерном распределении по профилю наиболее высокодисперсных фракций гранулометрического состава, то в качестве удобного критерия дифференциации генеральной совокупности приняты различия по этому показателю гор. А1, который в противоположность другим горизонтам профиля непосредственно контактирует с атмосферой и, следовательно, в процессе почвообразования подвергается наибольшей трансформации.

На рис. 1 представлена совокупность серых лесных почв в шкале содержания физической глины в гор. А1. Низкие значения

**Таблица 1.** Показатели строения профиля виртуальных подтиповых образцов серых лесных почв

| Горизонт            | <i>M</i> , см | Min | Max | <i>S</i> | <i>V</i> , % | <i>n</i> |
|---------------------|---------------|-----|-----|----------|--------------|----------|
| Светло-серая лесная |               |     |     |          |              |          |
| A1                  | 20            | 12  | 26  | 4.00     | 19.9         | 22       |
| A1A2                | 26            | 19  | 40  | 7.53     | 29.3         | 8        |
| BA2                 | 35*           | 25  | 46  | 5.90     | 6.0**        | 22       |
| B1                  | 60            | 45  | 75  | 10.19    | 16.9         | 21       |
| B2                  | 99            | 58  | 122 | 16.40    | 16.6         | 16       |
| BC (BD)             | 135           | 110 | 156 | 15.79    | 11.7         | 11       |
| Серая лесная        |               |     |     |          |              |          |
| A1                  | 18*           | 10  | 26  | 4.07     | 6.0**        | 39       |
| A1A2                | 26            | 18  | 38  | 5.22     | 20.0         | 18       |
| BA2                 | 35*           | 20  | 48  | 6.09     | 8.0**        | 37       |
| B1                  | 55*           | 36  | 76  | 10.26    | 14.0**       | 36       |
| B2                  | 98            | 72  | 124 | 14.03    | 14.4         | 18       |
| BC (BD)             | 145           | 113 | 164 | 16.22    | 11.2         | 12       |
| Темно-серая лесная  |               |     |     |          |              |          |
| A                   | 29            | 20  | 38  | 5.21     | 18.0         | 30       |
| AB (BA2)            | 38*           | 31  | 57  | 7.24     | 13.0**       | 27       |
| B1                  | 62            | 47  | 77  | 7.98     | 12.9         | 25       |
| B2                  | 93            | 70  | 116 | 12.17    | 13.0         | 24       |
| BC                  | 112           | 80  | 145 | 24.23    | 21.7         | 13       |

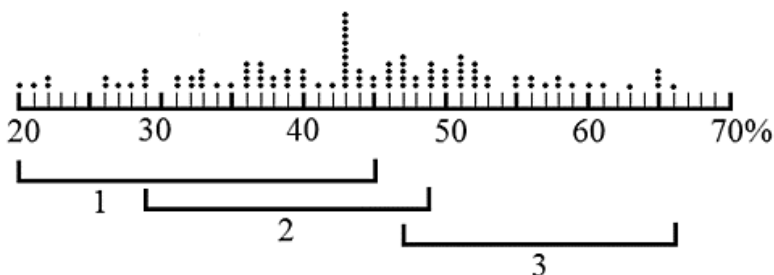
\* Для непараметрических данных используется медиана.

\*\* Межквартильный размах.

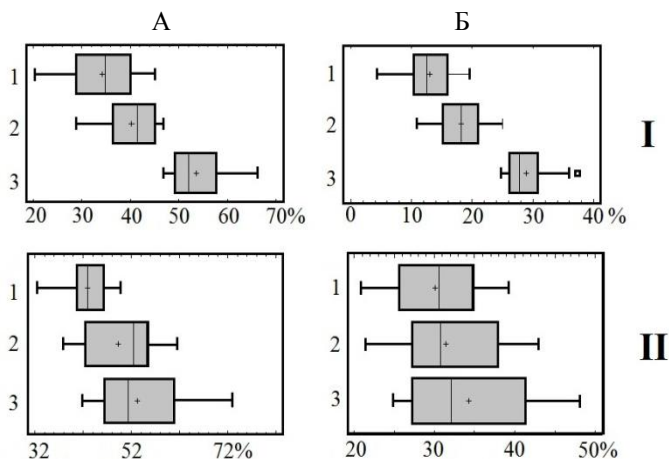
Примечание. *M* – среднее арифметическое, *S* – стандартное отклонение, *V* – коэффициент вариации, *n* – количество наблюдений.

содержания физической глины (20–26%) наблюдаются в светло-серых лесных почвах, в состав которых входят представители, формирующиеся на преобразованных эоловым путем аллювиальных отложений древних долин рек Волга, Кама и их крупных притоков, где 47–56% приходится на фракцию среднего и мелкого песка. Они достоверно отличаются от других представителей светло-серых лесных почв по содержанию физической глины ( $t_{ст} = 9.90$   $t_{кр} = 2.88$ ) и илистой фракции ( $P = 0.016$ ). Исключение их из состава светло-серых лесных почв привело к отсутствию значимых различий содержания физической глины в подтипах светло-серых и серых лесных почв ( $t_{ст} = 2.02$   $t_{кр} = 2.68$ ). Наибольшие значения содержания физической глины (47–67%) свойственны темно-серым почвам. Они с очень высоким уровнем вероятности ( $P = 7.39 \times 10^{-12}$ ) отделяются от светло-серых, так как высокодисперсные ее фракции способствует стабилизации и накоплению органического вещества в почвах (Jenkinson, 1977). Серые лесные почвы, формируются на отложениях с содержанием частиц <0.01 мм 29–48%, перекрывая диапазон размещения светло-серых и темно-серых почв и отчетливо тяготея к светло-серым почвам.

На рис. 2 представлено статистическое положение подтиповых групп в отношении гранулометрического состава гумусового горизонта. Приведенные графические и числовые данные статистической обработки выделенных подтиповых общностей свидетельствуют, что светло-серые почвы по сравнению с другими подтипами характеризуются гранулометрической неоднородностью.



**Рис. 1.** Распределение содержания физической глины в гумусовом горизонте совокупности серых лесных почв (1 – светло-серые, 2 – серые, 3 – темно-серые).



**Рис. 2.** Статистическое положение подтипов серых лесных почв по содержанию физической глины (А) и илистой фракции (Б) в гумусовом горизонте (I) и почвообразующей породе (II): 1 – светло-серые, 2 – серые, 3 – темно-серые.

Индивидуумы этой таксономической группы формируются в пределах природных районов, в которых почвообразующими толщами являются как продукты выветривания пермских и неогеновых мергелей, так и древние аллювиальные отложения, трансформированные эоловыми процессами. Темно-серые почвы обособляются в индивидуально группу как по содержанию физической глины, так и по содержанию ила в ней.

Считается, что почвообразующая толща, подразумевая ее изначально однородной, дифференцируется почвообразованием во времени, и что состав нижней части этой толщи отображает ее изначальный состав. Из данных, представленных на рис. 2II, следует, что содержание физической глины в гор. С выделенных подтипов почв представляет непрерывный ряд от 32 до 73%. Это позволяет сделать предположение о литологической целостности почвообразующего материала, а дифференциацию толщ приписывать комплексу природных процессов, центральное место среди которых принадлежит почвообразованию.

Так как процесс формирования серых лесных почв сопровождается перераспределением по профилю илистого компонента, по мнению некоторых исследователей, действием подзолообразо-

вания (Тюрин, 1930; Глинка, 1932; Роде, 1964; Пономарева, 1964), а по мнению других (Kundler, 1959; Зонн, 1966; Ахтырцев, 1979) – лессивированием, то содержание ее в горизонте средней части почвообразующей толщи относительно поверхностной и нижней его части увеличивается.

На рис. 3 представлено профильное распределение среднестатистической величины содержания физической глины и илистого компонента в ней. Эти данные наглядно демонстрируют, во-первых, что подповерхностная толща профиля почв всех подтипов обогащена относительно поверхностной и нижней (гор. С) не только содержанием ила, но и в целом содержанием физической глины. Во-вторых, отмеченная дифференциация достигает максимальной выраженности в той части поверхностной толщи, к которой приурочен гор. А1А2. При этом относительная обогащенность средней части профиля физической глиной и илом хорошо выражена в светло-серых и едва прослеживается в темно-серых почвах. Как уже отмечалось, это явление можно истолковать как результат длительного преобразования исходных толщ совместным действием собственно почвообразования и экзогенного изменения материнской породы, сопровождающего почвообразование.

Важным морфологическим и диагностическим признаком почвы служит выраженность дифференциации почвенного профи-

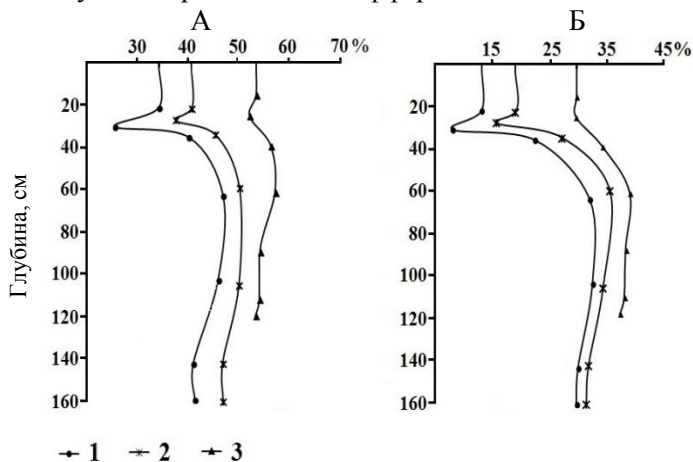


Рис. 3. Среднее содержание физической глины (А) и ила (Б) в профиле: 1 – светло-серых, 2 – серых и 3 – темно-серых лесных почв.

ля, количественной характеристикой которой является коэффициент дифференциации ( $S$ ). Он рассчитывался из предположения изначальной вертикальной однородности почвообразующих пород (Розанов, 2004) по соотношению содержания фракций среднего песка к мелкому песку в горизонтах всего профиля, а также суммы песчаных частиц к содержанию крупнопылеватой фракции по горизонтам (Busacca et al., 1989; Cabrera-Martinez et al., 1989; Stolt et al., 1993; Beshay, Sallam, 1995; Геннадиев, Глазовская, 2005; Корнилова и др., 2010; Турзина, 2012). В результате установлено, что светло-серые ( $S = 3.0$ ) и серые лесные почвы ( $S = 2.4$ ) характеризуются сильнодифференцированным, темно-серые – среднедифференцированным профилем ( $S = 1.8$ ).

*Содержание гумуса* в почве является важным признаком ее плодородия. Оно тесно коррелирует со всеми физическими свойствами почвы и в значительной степени определяет биологические и многочисленные химические процессы (Кершенс, 1992; Martin, 2002). В табл. 2 представлен размах колебаний содержания гумуса и некоторых физико-химических свойств в подтиповом профиле серых лесных почв.

Между содержанием гумуса и кальция наблюдается сильная корреляционная связь ( $r = 0.8$ ,  $P = 0.000$ ,  $n = 70$ ). Для описания линейной зависимости был проведен регрессионный анализ. Регрессионная зависимость описывается уравнением:

$$y = 1.95 + 0.16 x,$$

где  $x$  – содержание кальция, ммоль(экв)/100 г почвы;  $y$  – содержание гумуса, %.

*Идентификация таксонов численными методами.* В табл. 3 отражены результаты кластеризации методом  $k$ -средних при трех кластерах с числом интерпретаций, равным 10. Начальные центры классов задавались через одинаковые интервалы в ранжированном ряду. В качестве переменных, для которых проводили анализ, выбраны следующие показатели: содержание гумуса, сумма поглощенных оснований, содержание илистой фракции и физической глины, реакция среды (рН водной вытяжки) в гумусовом горизонте.

Из данных табл. 3 следует, что нулевая гипотеза о равенстве средних по выделенным кластерам отвергается, так как уровень значимости для всех почвенных свойств меньше 0.05.

**Таблица 2.** Диапазоны отклонения от средних физико-химических свойств диагностических горизонтов профиля

| Свойство                                      | Светло-серые лесные, $n = 29$ | Серые лесные, $n = 24$ | Темно-серые лесные, $n = 34$ |
|---|-------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Гор. А1                                       |                               |                        |                              |
| Содержание физической глины, %                | 20.3–45.3                     | 28.8–46.9              | 47.1–66.2                    |
| Содержание илистой фракции, %                 | 4.3–19.5                      | 10.8–25.3              | 24.5–37.4                    |
| pH водной суспензии                           | 4.9–6.6                       | 5.3–6.8                | 5.8–7.4                      |
| Содержание гумуса, %                          | 2.2–5.0                       | 4.3–7.6                | 6.2–11.7                     |
| Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г | 6.7–20.0                      | 20.4–35.0              | 30.1–55.1                    |
| Гор. А1А2                                     |                               |                        |                              |
| Содержание физической глины, %                | 13.3–39.7                     | 33.1–41.5              | –                            |
| Содержание илистой фракции, %                 | 4.8–12.2                      | 5.7–18.3               | –                            |
| pH водной суспензии                           | 5.2–5.5                       | 5.3–5.9                | –                            |
| Содержание гумуса, %                          | 0.39–2.07                     | 1.23–3.80              | –                            |
| Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г | 2.2–16.0                      | 10.7–18.7              | –                            |
| Гор. В1                                       |                               |                        |                              |
| Содержание физической глины, %                | 33.6–58.7                     | 41.4–61.2              | 47.2–76.8                    |
| Содержание илистой фракции, %                 | 22.5–45.8                     | 20.0–45.0              | 30.3–49.3                    |
| pH водной суспензии                           | 4.5–5.9                       | 4.7–5.9                | 5.4–7.3                      |
| Содержание гумуса, %                          | 0.17–0.92                     | 0.3–1.6                | 0.7–3.0                      |
| Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г | 8.0–28.7                      | 16.4–35.5              | 23.7–42.2                    |
| Гор. С  |                               |                        |                              |
| Содержание физической глины, %                | 32.5–49.8                     | 37.8–61.6              | 41.9–73.0                    |
| Содержание илистой фракции, %                 | 20.9–39.2                     | 21.3–45.4              | 24.9–48.1                    |
| pH водной суспензии                           | 5.5–8.8                       | 5.8–8.4                | 6.4–8.8                      |
| Содержание гумуса, %                          | 0.1–0.3                       | 0.1–0.5                | 0.3–1.0                      |
| Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г | 14.7–26.0                     | 20.3–37.0              | 23.2–46.1                    |

Для статистической верификации суммарной вариации наиболее информативных показателей использовался метод главных компонент. Первая главная компонента (**ГК**) наиболее сильно коррелирует со значениями содержания гумуса, физической глиной, содержанием обменных оснований и описывает 74% общей дисперсии признаков (табл. 4). Увеличение числа используемых признаков приводит к снижению дисперсии. Вторая ГК коррелирует с



**Таблица 3.** Результаты дисперсионного анализа

| Признак                  | Сумма квадратов между классами | <i>df</i> | Общая сумма квадратов внутри классов | <i>df</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
|--------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|----------|----------|
| Мощность                 | 1854.54                        | 2         | 1475.95                              | 77        | 48.38    | 0.0000   |
| pH                       | 2.01                           | 2         | 21.29                                | 77        | 3.63     | 0.0311   |
| Гумус                    | 262.35                         | 2         | 109.75                               | 77        | 92.04    | 0.0000   |
| Сумма обменных оснований | 7643.72                        | 2         | 2391.35                              | 77        | 123.06   | 0.0000   |
| Фракция <0.001 мм        | 3669.14                        | 2         | 1403.27                              | 77        | 100.67   | 0.0000   |
| Фракция <0.01 мм         | 6049.23                        | 2         | 3102.42                              | 77        | 75.07    | 0.0000   |

Примечание. *df* – число степеней свободы, *F* – значение *F*-статистики, *P* – уровень значимости.

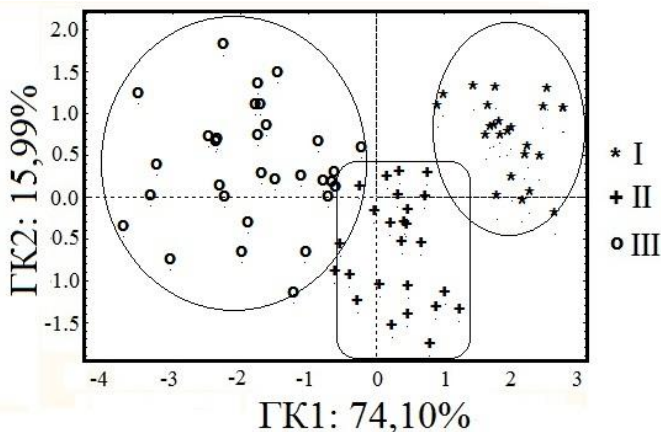
**Таблица 4.** Факторные координаты переменных на основе корреляций

| Переменная                    | ГК1     | ГК2     |
|-------------------------------|---------|---------|
| Содержание гумуса             | -0.8938 | -0.2591 |
| Мощность гумусового горизонта | -0.6726 | 0.7343  |
| Содержание физической глины   | -0.8722 | -0.0179 |
| Сумма обменных оснований      | -0.9160 | 0.2252  |

мощностью гумусового горизонта и описывает 16% дисперсии.

Разброс свойств гумусового горизонта серых лесных почв вдоль компонент представлен на рис. 4. Вдоль области ГК1 (по комплексу свойств) серые лесные почвы отчетливо группируются в три подтипа, причем совершенно обособленно светло-серые и темно-серые. Серые занимают промежуточное положение, сочетая в себе как свойства светло-серых подтипов, так и особенности темно-серых лесных почв.

Основная часть серых лесных почв находится в положительной области факторной плоскости ГК1 ближе к светло-серым лесным подтипам. Они имеют близкое с ними морфологическое строение, но отличаются количественной основой рассматриваемых признаков гумусового горизонта. Близкое расположение в отрицательной области с темно-серыми лесными почвами связано с формированием их на более тяжелых почвообразующих отложениях по сравнению с большинством представителей серых лесных почв. Они характеризуются повышенным содержанием гумуса



**Рис. 4.** Визуализация подтиповых свойств гумусового горизонта серых лесных почв в факторной плоскости GK1 (содержание илстых фракций, поглощенных оснований, гумуса) и GK2 (мощность гумусового горизонта): I – светло-серые лесные, II – серые лесные, III – темно-серые лесные.

(7.0–7.8%) и обменных оснований (27–35 ммоль(экв)/100 г). Основным препятствием к отнесению их в состав темно-серых лесных почв является малая мощность гор. A1 (от 14 до 18 см) и наличие гор. A1A2.

Близость морфологического строения, дифференциации профиля, отсутствие статистических различий профильного распределения мелкодисперсных частиц, гумуса, pH, а также близкое расположение на факторной плоскости суммарной вариации почвенных свойств поверхностных горизонтов позволяет объединить светло-серые и серые лесные почвы в тип серые почвы, и рассмотреть совокупность в аспекте классификации 2004. Значимые количественные различия некоторых свойств в гумусовом горизонте связаны с особенностями почвообразующих пород, которые определяют интенсивность процессов почвообразования.

Путем обобщения данных морфологического строения профиля выделенных подтипов и статистической обработки нижних границ их горизонтов созданы виртуальные образы (эталон) серых и темно-серых почв Волжско-Камской лесостепи (рис. 5). Достоверные различия в типах серых и темно-серых почв обнаружались в содержании гумуса ( $P = 9.47 \times 10^{-12}$ ), обменных оснований ( $P = 6.65 \times 10^{-10}$ ), содержании илистой фракции ( $p = 0.000$ ), содер-

жания глинистой фракции ( $P = 2.03 \times 10^{-9}$ ) в верхних 20 см. Дополнительно после объединения в кислотности ( $t_{ст} = 3.91$ ,  $t_{кр} = 2.63$ ) и мощности гумусового горизонта ( $P = 0.000$ ), а также в мощности выщелоченной толщи (до гор. С) ( $P = 0.0035$ ) и запаса гумуса в метровой толщи (т/га) ( $t_{ст} = 4.89$ ,  $t_{кр} = 2.98$ ).

Для идентификации выделенных таксонов серых лесных почв в системе 1977 г. и серых и темно-серых почв в системе 2004 г. в качестве метода численной классификации использовался дискриминантный анализ. По классификации 1977 г. имеются две значимые дискриминантные функции. Первая ответственна за 87% дисперсии и коррелирует с содержанием гумуса ( $P = 0.004$ ), обменными основаниями ( $P = 0.000$ ) и физической глины ( $P = 0.006$ ). Вторая определяет 13% дисперсии и коррелирует с мощностью гумусового горизонта ( $P = 0.000$ ).

Матрица классификации свидетельствует, что светло-серые и серые лесные почвы были правильно классифицированы на 100%,

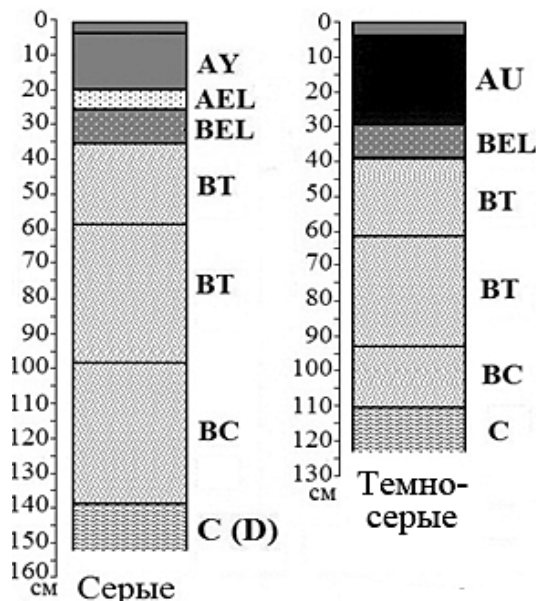


Рис. 5. Центральные образы типов серых и темно-серых почв.

темно-серые лесные на 90%. Функции классификации имеют вид:

$$S_1 = -0.04x_1 + 0.64x_2 + 2.26x_3 + 1.00x_4 - 24.43,$$

$$S_2 = 0.30x_1 + 0.75x_2 + 3.60x_3 + 0.75x_4 - 37.80,$$

$$S_3 = 0.35x_1 + 0.90x_2 + 4.87x_3 + 1.42x_4 - 69.81,$$

где  $S_1$  – совокупность светло-серых лесных почв,  $S_2$  – совокупность серых лесных почв;  $S_3$  – совокупность темно-серых лесных почв;  $x_1$  – сумма обменных оснований;  $x_2$  – содержание физической глины;  $x_3$  – содержание гумуса;  $x_4$  – мощность гумусового горизонта.

Результаты анализа дискриминантной функции по классификации 2004 г. показывают уменьшение достоверных переменных, позволяющих проводить дискриминацию между типами серые и темно-серые почв. Так как сравнение происходит между двумя типами, то имеется только одна дискриминантная функция, коррелирующая с мощностью гумусового горизонта ( $P = 0.000$ ), содержанием гумуса ( $P = 0.000$ ) и физической глины ( $P = 0.018$ ), определяя 100% дисперсии. Уменьшение количества достоверных переменных вероятно связано с тем, что дискриминантный анализ учитывает не только величину и варьирование каждого свойства, но и их взаимосвязь между собой.

Матрица классификации показывает, что серые почвы были правильно классифицированы на 100%, темно-серые на 97%. Функции классификации:

$$S_1 = 1.02x_1 + 1.69x_2 + 0.49x_3 - 22.51,$$

$$S_2 = 1.68x_1 + 3.13x_2 + 0.63x_3 - 52.87,$$

где  $S_1$  – совокупность серых почв;  $S_2$  – совокупность темно-серых почв;  $x_1$  – мощность гумусового горизонта;  $x_2$  – содержание гумуса;  $x_3$  – содержание физической глины.

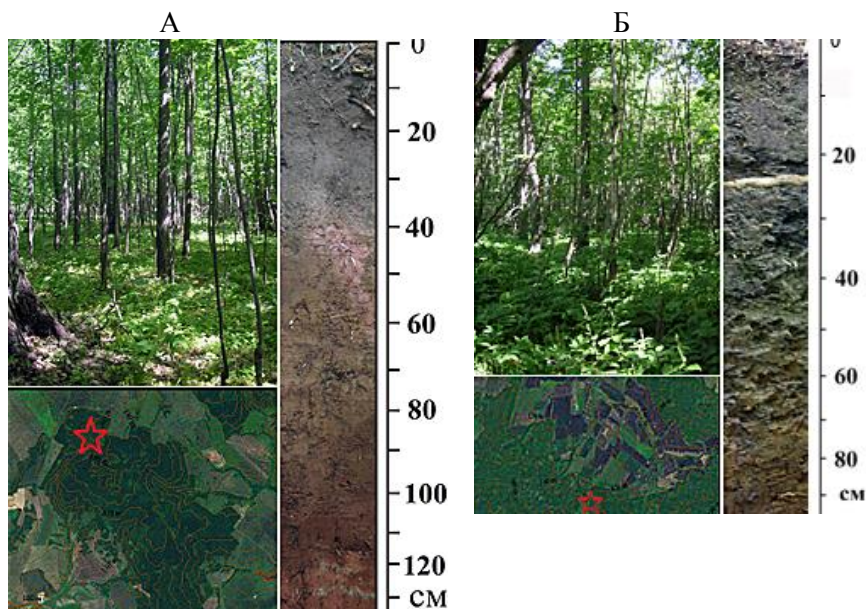
*Реальные представители центра виртуальных таксонов.* Для поиска реальных представителей центральных виртуальных образов таксонов заложено 15 разрезов в широколиственных лесах Республики Татарстан и проанализированы физические и физико-химические свойства их горизонтов. Из них, используя виртуальный образ в качестве типового стандарта, выбрано по одному представителю серых (разр. 12) и темно-серых почв (разр. 16) с наиболее сходным морфологическим строением профиля с таковым виртуального образа.

Реальный представитель центрального образа серых почв, расположенный на территории Янтыковского лесного массива

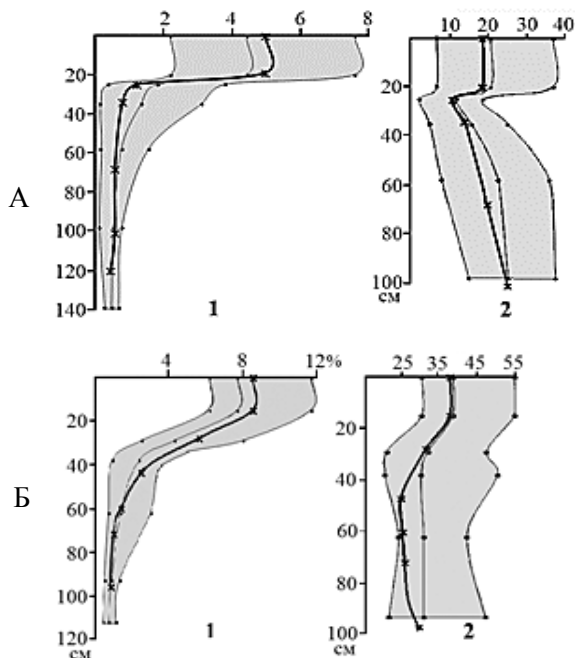
(55°36.938' N; 49°37.481' E, абс. высота 182 м), формируется под липняком снытьевым с примесью дуба и березы (рис. 6А).

Подрост представлен кленом и липой. Надпочвенный покров образован *Aegopodium podagraria* L., *Pteridium aquilinum* L., *Polygonatum multiflorum* L., *Asperula graveolens* L., *Stellaria nemorum* L., *Lamium maculatum* L. и *Geranium sylvaticum* L.

Почва серая типичная насыщенная мелкая неглубокоосветленная сильно выщелоченная тяжелосуглинистая на элювии пермских отложений, по строению профиля очень близка к центральному виртуальному образу. Гумусовый горизонт содержит 5.0% гумуса и 18.5 ммоль(экв)/100 г поглощенных оснований. Реакция среды среднекислая. На глубине 40–60 см находится горизонт накопления вымытых из вышележащей толщи веществ, характеризующийся максимальным содержанием тонкодисперсных частиц. Кутаны, по мере приближения к карбонатным материнским породам, становятся темнее. Локальное вскипание в местах скопления карбонатов отмечается с глубины 107 см.



**Рис. 6.** Место заложения разр. 12 (серой почвы, А) и разр. 16 (темно-серой почвы, Б) и их облик.



**Рис. 7.** Основные свойства реальных представителей серой (А) и темно-серой почвы (Б) в диапазоне их типового варьирования: 1 – содержание гумуса, %; 2 – сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г.

Профильное изменение содержания гумуса и обменных оснований в реальном представителе находится в близком диапазоне к средним значениям эталона серой почвы (рис. 7А).

Представитель образа темно-серых почв (разр. 16) расположен на территории Билярского лесхоза Алексеевского района Республики Татарстан (54°54.584'N; 50°33.985' E, абс. высота 175 м) (рис. 6Б). Растительность представлена липняком с кленом. В подросте встречаются клен, липа и осина. Надпочвенный покров: *Aegopodium podagraria* L., *Convallaria majalis* L., *Polygonatum multiflorum* L., *Asarum europaeum* L., *Glechoma hederacea* L., *Stellaria nemorum* L., *Stachys sylvatica* L., *Aconitum septentrionale* L.

Почва типичная насыщенная среднемелкая средневыщелоченная тяжелосуглинистая на карбонатной глине. Иловато-крупнопылеватый гумусовый горизонт обладает комковато-зернистой структурой, высоким содержанием гумуса (8.5% в

верхнем 15 см) и очень высоким содержанием поглощенных оснований (37.6 ммоль(экв)/100 г). Реакция среды верхнего горизонта нейтральная, на глубине 40–80 см средне- и сильнокислая (5.6–5.3). На глубине 50–60 см находится горизонт максимального содержания илистой фракции. Кутаны, по мере приближения к материнской породе, становятся темнее. Локальное вскипание в местах скопления карбонатов отмечается с глубины 72 см.

Профильное изменение содержания гумуса в реальном представителе близко к средним величинам рассматриваемого свойства в статистическом образе (рис. 7Б).

Содержание обменных оснований и величина актуальной кислотности в гумусовом горизонте также сходна со средними значениями образа темно-серой почвы. Однако в субэлювиальной зоне профиля их значения приближается к лимитирующему пределу, что, вероятно, связано с исходной неоднородностью почвообразующей толщи. Значения актуальной кислотности численно близки к значениям серой почвы (разр. 12) и обусловлены в основном присутствием обменного водорода в ППК.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные материалы по обобщению представлений исследователей, в том числе представлений авторов, о лесных почвах лесостепи, вычленению в их составе типов с использованием численных методов резюмируются следующими выводами.

1. Строение профиля, химические и физико-химические свойства лесных почв в зональной почвенной системе лесостепи в силу их тяготения к элементам рельефа, получающим дополнительное увлажнение за счет перераспределения атмосферных осадков поверхностным и внутрпочвенным стоком или (и) ухудшением условий физического испарения зависят от гранулометрического состава почвообразующих отложений.

2. Эта зависимость наиболее рельефно проявляется в поверхностном (гумусовом) горизонте: его мощности, содержании в нем гумуса, реакции среды, удалении его от горизонта выделения карбонатов.

3. Вся совокупность лесных почв Волго-Вятской лесостепи, ранее классифицирующая на три подтипа, наиболее отчетливо

обособляется в классификационной системе 2004 г. на типы серых и темно-серых.

4. Для практического использования предлагаются следующие лимиты для выделения в составе лесных почв Волго-Камской лесостепи серых и темно-серых почв по свойствам гумусового горизонта.

| Свойство                                      | Серые почвы | Темно-серые почвы |
|---|-------------|-------------------|
| Содержание физической глины, %                | 20–46       | 47–66             |
| Содержание илистой фракции, %                 | 4–24        | 25–37             |
| Мощность гумусового горизонта, см             | 10–23       | 24–38             |
| Содержание гумуса, %                          | 2–7         | 7–12              |
| Сумма поглощенных оснований, ммоль(экв)/100 г | 7–34        | 35–55             |
| pH водной вытяжки                             | 5–6         | 6–7               |

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова А.Б., Бережная Н.А., Григорьян Б.Р., Иванов Д.В., Кулагина В.И.* Красная книга почв Республики Татарстан. Казань: Фолиант, 2012. 192 с.
2. *Артемьева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
3. *Ахтырцев Б.П.* О генезисе серых лесных почв // Почвоведение. 1979. № 10. С. 24–33.
4. *Ванюшина А.А., Травникова Л.С.* Органо-минеральные взаимодействия в почвах (обзор литературы) // Почвоведение. 2003. № 4. С. 418–428.
5. *Винокуров М.А., Гришин П.В.* Лесные почвы Татари. Казань: Изд-во КГУ, 1962. 69 с.
6. *Газизуллин А.Х.* Почвенно-экологические условия формирования лесов среднего Поволжья: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства. Казань: Школа, 2005. 496 с.
7. *Геннадиев А.Н., Глазовская М.А.* География почв с основами почвоведения. М.: Высшая школа, 2005. 460 с.
8. *Глинка К.Д.* Почвоведение. М.–Л.: Сельхозгиз, 1932. 596 с.
9. *Захаров К.К.* Почвы лесов Чувашии и пути их рационального использования: дис. ... д. б. н. Казань, 2004. 385 с.
10. *Захаров К.К.* Почвы нагорных дубрав Чувашской АССР, пути их улучшения и повышения продуктивности произрастающих на них лесов: дис. ... к. б. н. Йошкар-Ола, 1974. 171 с.
11. *Зонн С.В.* Буроземообразование, псевдоподзоливание и подзолообразование // Почвоведение. 1966. № 7. С. 5–13.



12. *Иванова Е.И.* Почвы широколиственных и хвойно-широколиственных лесов Марийской АССР и мероприятия по их улучшению: дис. ... к. б. н. Йошкар-Ола, 1968. 318 с.
13. *Кершенс М.* Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // Почвоведение. 1992. № 10. С. 122–132.
14. *Корнилова А.Г., Шинкарев А.А., Лыгина Т.З., Гиниятуллин К.Г.* Диагностика литологической однородности почвенного профиля по индексным элементам. Казань, 2010. 28 с.
15. *Пономарева В.В.* Теория подзолообразовательного процесса. М.–Л.: Наука, 1964. 378 с.
16. *Рожков В.А.* Классификация и классификация почв // Почвоведение. 2012. № 3. С. 259–269.
17. *Рожков В.А.* Почвенная информатика. М.: Агропромиздат, 1989. 222 с.
18. *Рожков В.А.* Формальный аппарат классификации почв // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1411–1424.
19. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. М.: Академический проект, 2004. 432 с.
20. *Турсина Т.В.* Подходы к изучению литологической однородности профиля и полигенетичности почв // Почвоведение. 2012. № 5. С. 530–546.
21. *Тюрин И.В.* К вопросу о генезисе и классификации лесостепных и лесных почв // Учен. зап. Казан. ун-та. 1930. Т. 90. Кн. 3–4. С. 429–462.
22. *Тюрин И.В., Андреев С.И., Землянички Л.Т., Шендриков М.Г.* Почвы Чувашской республики. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1935. 329 с.
23. *Шакиров К.Ш., Арсланов П.А.* Почвы широколиственных лесов Предволжья. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1982. 175 с.
24. *Beshay N.F., Sallam A.Sh.* Evaluation of some methods for establishing uniformity of profile parent materials // Arid Land Res. Manage. 1995. Vol. 9. P. 63–72.
25. *Busacca A.J., Busacca A.J., Singer M.J.* Pedogenesis of a chronosequence in the Sacramento Valley, California, U.S.A., II. Elemental chemistry of silt fractions // Geoderma. 1989. Vol. 44. P. 43–75.
26. *Cabrera-Martinez F., Harris W.G., Carlisle V.W., Collins M.E.* Evidence for clay translocation in Coastal Plain soils with sandy/loamy boundaries // Soil Sci. Soc. Am. J. 1989. Vol. 53. P. 1108–1114.
27. *Jenkinson D.S.* Studies on the decomposition of plant material in soil // J. Soil Sci. 1977. Vol. 17. P. 280–302.
28. *Kundler P.* Zur Kenntnis der Rasenpodsole and Greuen Waldböden Mittel-russlands im Vergleich mit den Sols lessives des westlichen Europas // Z. Pflanzenernähr., Düng. Bodenkunde. 1959. Bd. 86. H. 1. S. 16–36.
29. *Martin R.* Carter Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions // Agronomy J. 2002. Vol. 94. P. 38–47.

30. *Stolt M.H., Baker J.C., Simpson T.W.* Soil-landscape relationships in Virginia: I. Soil variability and parent material uniformity // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1993. Vol. 57. P. 414–421.

## **NUMERICAL METHODS TO RECOGNIZE THE SOIL TYPES IN THE FOREST STEPPE**

**G. F. Koposov, A. A. Valeeva**

*Kazan Federal University, 420008, Russia, Kazan, 18 Kremlyovskaya St*

The authors generalized and summarized original and literature data with the view of studying the gray and dark-gray soils in the Volga–Kama forest steppe. The methods of multidimensional statistics permitted to determine the position of these soils in the available soil classification system. A great number of soils described by different researchers within the framework of Russian soil classification system (1977) were formalized in conformity with that published in 2004. In the latest classification system of soils in Russia the reliable differences in the humus horizon of gray and dark-gray soils are shown in the content of humus, exchangeable bases, clay fraction, acidity and thickness as well as in the thickness of the leached layer (up to the C horizon) and the humus storage within the one meter of soil (t/ha). The methods of numerical classification allowed determining discriminated functions and classify more exactly the studied soils in the Volga–Kama forest steppe. Based upon statistic processing of the obtained data the limits for properties of the humus horizon are suggested to distinguish the gray and dark-gray soils. The visual imagination widely adopted now to recognize the types of gray and dark-gray soils should be added by limits of their varying properties. The obtained results presented in this paper may be useful to improve the idea on properties of gray forest soils. The suggested criteria to recognize the studied soils may be applicable for studying and systematizing these soils as well as for purposes of land use, elaboration of regional database and in projects of ecological territory optimization.

*Keywords:* gray soils, dark-gray soils, numerical classification, systematization.