

УДК 631.417

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ИСХОДНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОДНОРОДНОСТИ ПОЧВООБРАЗУЮЩЕЙ ПОРОДЫ

*А.А. Шинкарев, А.Г. Корнилова, Т.З. Лыгина,
К.Г. Гиниятуллин, Р.Р. Гильмутдинов*

Аннотация

Проведен критический анализ существующих подходов к оценке исходной вертикальной однородности почвообразующей породы. Изучено распределение Ti , Zr и Y в профилях двух лесостепных почв, развитых на рыхлых отложениях, типичных для Среднего Поволжья. Для уверенной диагностики литологической однородности почвенного профиля по индексным элементам необходимо использовать специальные методы подготовки образцов к анализу либо использовать такой отбор профильных образцов, который позволяет статистически оценивать достоверность показателей. Для качественной интерпретации профильного распределения Ti , Zr и Y рекомендуется не ограничиваться одним способом вскрытия образца.

Ключевые слова: почва, литологическая однородность, распределение Ti , Zr и Y .

Введение и постановка задачи

Результат почвообразования, отраженный в свойствах современной почвы, можно оценить только по отношению к некоторому прежнему состоянию. Оно может быть промежуточным и представлять собой эту же почву на более ранней стадии почвообразования. Самым же отдаленным эталоном будет исходная материнская порода, которая оказалась на земной поверхности в той начальной точке, когда внутренние и внешние факторы пришли в соприкосновение и затем стали изменяться в континууме времени. Количественная характеристика почвы часто помогает нам оценить те изменения, которые, возможно, имели место в ходе ее развития, а иногда и описать последовательность процессов, которые могли бы привести почву к наблюдаемому состоянию. Сопоставление теоретически рассчитанных изменений с наблюдаемыми параметрами позволяет принять, уточнить или отвергнуть то или иное из многочисленных предположений, составляющих наши представления о происхождении почвы. Однако, чтобы конструирование педогенеза не было произвольным, абсолютно необходимо установить (доказать) однородность почвенной системы и определить ее начальное состояние. Если будут получены четкие свидетельства того, что почвенный индивидуум сформировался в едином и относительно однородном отложении, то хорошей первой аппроксимацией начального состояния почвенной системы до развития почвы *in situ* будет горизонт C , который лишь в этом случае может рассматриваться как «материнская порода». В любом другом случае

нельзя рассматривать факторы дифференциации почвообразующей породы на генетические горизонты в рамках общепринятой «А-В-С модели», и любые способы расчета степени дифференциации почвенного профиля (методы прямого сравнения, стабильного компонента, изообъемного сравнения и др.), строго говоря, некорректны.

Целью настоящей работы является рассмотрение существующих подходов к оценке исходной вертикальной однородности почвообразующей породы и экспериментальная проверка возможностей использования метода отношений концентраций стабильных компонентов для оценки литологической однородности лесостепных почв, развитых на рыхлых отложениях.

Существующие подходы к оценке литологической однородности исходной почвообразующей породы

Критерии для оценки исходной вертикальной однородности почвенного индивидуума обычно получали, используя данные гранулометрического, минерального и элементного анализов профильных образцов почв, которые пытались при этом увязать с априорной литологической однородностью (неоднородностью), основанной на морфологических наблюдениях.

Элювиально-иллювиальная дифференциация профиля преимущественными потоками влаги представляет собой широко распространенное явление. Процессы выноса и аккумуляции продуктов разрушения и преобразования в конечном итоге приводят к перераспределению тонкодисперсных частиц и появлению систематических различий в их содержании между горизонтами. Если допустить, что фракции песка и пыли остаются неподвижными и выветриваются с одинаковыми скоростями, то пересчет результатов гранулометрического анализа на безглинистую (без частиц < 2 мкм) и бескарбонатную основу элиминирует влияние внутрипочвенного перемещения тонкодисперсных частиц и карбонатов на гранулометрический состав (ГС) [1, 2]. Это, в свою очередь, позволяет аппроксимировать ГС исходных отложений. Тогда резкие изменения относительного содержания безглинистых и бескарбонатных фракций песка и пыли (то есть частиц размером 2000–2 мкм) между двумя горизонтами будут указывать на литологическую неоднородность. Например, в одной из работ [3] различия в содержании одной или нескольких фракций песка и пыли между горизонтами интерпретировались как смена пород, если они превышали 25%. Принималось, что такое относительное различие больше, чем вероятные средние ошибки определения содержания размерных фракций частиц в пределах горизонта [4]. Критерии, по которым проводилась оценка литологической однородности почвенных профилей этим методом, были достаточно разнообразными. Помимо содержания конкретных размерных фракций использовались и их отношения [5–11].

Ограничения вытекают из начальных допущений. Транспорт песка или пыли в почвенном профиле маловероятен. Однако в кислых средах слюда и полевошпат выветриваются намного быстрее, чем кварц. Потому при этих условиях кварц будет концентрироваться в поверхностных горизонтах. Большие по размеру зерна кварца выветриваются медленнее, чем фракции пыли. Поскольку удельная поверхность частиц песка меньше, чем частиц пыли, то скорость процессов десиликации пылевой фракции кварца всегда больше, чем песчаной [12].

Это предполагает, что для состоящих из разнообразных минералов почв ГС, рассчитанный для безглинистой основы, может оказаться не вполне надежным показателем литологической однородности профилей.

В свое время предпринимались многочисленные попытки систематизировать минералы тяжелой ($> 2.96 \text{ г/см}^3$) фракции почвенного мелкозема ($< 2000 \text{ мкм}$) по их устойчивости к любым условиям выветривания [1, 2, 13–15]. В настоящее время к наиболее стойким и наименее подверженным внутрпочвенному транспорту минералам принято относить циркон, рутил, ксенотим, турмалин и кварц. Относительно недавно [16, 17], методами растровой электронной микроскопии и микрозондового анализа изучали особенности выветривания циркона и рутила в сочетании подзолов с разным относительным возрастом. Было обнаружено, что частицы циркона проявляют такие физические характеристики (например, имеют чистые и гладкие поверхности), которые свидетельствуют о меньшем его химическом выветривании во время педогенеза по сравнению с рутилом. На основании статистического анализа микроструктурных особенностей тяжелых минералов авторы пришли к выводу, что циркон был самым стойким к выветриванию минералом, вслед за силлиманитом и шпинелью.

Выбор минералов, стойких к химическому выветриванию, был положен в основу метода оценки однородности почвенного профиля путем сравнения отношений их концентраций [14], например циркон (%) / турмалин (%), циркон (%) / рутил (%), циркон (%) / рутил + турмалин (%). Принимается, что если отношения содержания стабильных минералов не изменяются с глубиной, то материнская порода с высокой вероятностью вертикально однородна. По мере того, как другие минеральные формы будут разрушаться, устойчивые минералы должны концентрироваться. При допущении, что абсолютные массы стабильных минералов не изменились в процессе формирования конкретного почвенного профиля, по ним могут быть рассчитаны другие изменения (например, потеря менее устойчивых к выветриванию минералов, таких, как полевые шпаты).

Технические ограничения обусловлены тем, что в ряде случаев становится трудно обеспечить необходимый минимум подсчетов частиц, чтобы достигнуть приемлемого уровня статистической значимости. В свое время было рассчитано [2], что когда почвы содержат только малые количества минерала (например, 0.5% любой соответствующей размерной фракции частиц), это требует подсчета больше чем 75000 частиц, чтобы получить статистическую значимость на уровне 0.05. Причем даже в этом случае точность подсчета будет ограничена возможностью неточной идентификации минералов оптической микроскопией. Серьезные принципиальные ограничения могут быть обусловлены тем, что исходное априорное допущение (частицы стабильных минералов не подвергались физическому и химическому выветриванию и во время формирования почвенного профиля оставались неподвижными) достаточно часто не выполняется полностью и во всех горизонтах. Есть свидетельства того, что даже циркон может подвергаться химическому выветриванию, особенно в щелочных условиях [17–19]. Таким образом, даже в случае наличия различий в отношениях стабильных минералов могут возникать ситуации, когда не устанавливается ни гетерогенность, ни гомогенность почвообразующей породы, поскольку эти различия могут быть обусловлены стратификацией или случайной вариацией.

Идентификация стабильных минералов в тяжелой фракции мелкозема оптической микроскопией весьма трудоемка и обычно ограничивается экспертизой песчаных частиц из-за проблем, возникающих при идентификации частиц меньшего размера. Могут встречаться и непрозрачные зерна, идентичность которых не устанавливается. В этой ситуации удобно было сначала допустить, что Zr, Ti и Y присутствуют в почве только в составе циркона, рутила и ксенотима, а затем использовать эти элементы в качестве индексов соответствующих минералов (см. например, [20–25]).

Тогда в качестве критериев литологической однородности материнских пород могут быть взяты кривые распределения по профилю концентрации этих элементов в мелкоземе или отдельных гранулометрических фракциях и отношения концентраций элементов. Наиболее часто используется отношение Ti/Zr [1, 10, 20, 23, 25–30]; отношение Zr/Y применяется реже [22, 23, 29, 30]. Индикатором однородности материнской породы считаются плавные профильные кривые концентраций Ti, Zr и Y при постоянных их отношениях.

К сожалению, исходное допущение часто оказывается весьма условным, главным образом для Ti. Даже в составе грубодисперсных первичных минералов Ti может присутствовать не только в рутиле, но и в ильмените, который в отличие от рутила менее устойчив к выветриванию [31]. Во фракции мелкозема содержание Ti может увеличиваться от фракции песка к фракции пыли [20], от фракции пыли к фракции глины и от горизонтов С к горизонтам А [31]. Теми же авторами показано, что Ti может присутствовать в биотите, горнблендите, сфене, непрозрачных минеральных частицах, причем продукты их выветривания служат источниками Ti для разного рода тонкодисперсных почвенных образований (глинистые, железо-глинистые, железистые пленки, плазма и др.). Даже простая оксалатная обработка валовых образцов почв может дать небольшое, но заметное количество Ti, особенно в горизонтах Вt [31]. В другой работе [32] было обнаружено накопление Ti и Zr в глинисто-иллювиальных горизонтах хорошо дренируемых почв. При анализе легких ($< 2.89 \text{ г/см}^3$) минеральных фракций образцов из горизонтов В и С почв, образовавшихся на лессах и водно-ледниковых отложениях, было обнаружено, что содержание Ti и Zr зависит от размеров частиц и увеличивается от фракции с размером частиц 250–50 мкм к фракции 20–5 мкм [33]. В некоторых почвах Ti был обнаружен в составе вторичного лейкоксена покрывающего поверхность зерен тонкого песка [20], что, кстати, ограничивает надежность использования Ti как индексного элемента даже при анализе фракций песка.

Объекты и методы

В качестве объектов использованы две целинные лесостепные почвы с обычными для Республики Татарстан (РТ) рыхлыми породами, лежащими в основании профилей, при полевом описании которых никаких морфологических признаков литологических границ обнаружено не было. Минеральный состав глинистой фракции горизонта С чернозема выщелоченного среднеспособного тучного тяжелосуглинистого (Среднее Предволжье, Камско-Устьинский административный район РТ) типичен для четвертичных суглинков и представлен неупорядочено смешанослойными фазами иллит-сметит с широким диапазоном изменений

концентрации компонент. Аллотигенный (обломочный) хлорит и диоктаэдрические слюды присутствовали в делювиальной породе. Небольшая примесь каолинита, очевидно, образовалась за счет разложения полевых шпатов. Основание профиля темно-серой легкоглинистой почвы (Низменное Заволжье, Алексеевский административный район РТ) сложено алевроитом казанского яруса пермской системы. В условиях РТ присутствие четвертичного материала уверенно диагностируется по малым примесям амфиболов и слабо деградированных триоктаэдрических слюд, которых в данном случае нет. Исходный материал не подвергался размыву или переотложению водными потоками.

Определение валового химического состава проводили на ИСП-спектрометре Optima-2000DV и масс-спектрометре ELAN-9000 производства Perkin Elmer. Для вскрытия анализируемых образцов использовали обработку смесью кислот HClO_4 , HNO_3 , HF и сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ с последующим выщелачиванием сплава водой и соляной кислотой. Для контроля применяли стандартные образцы сравнения, аттестованные на содержание определяемых элементов и имеющие минералогический состав, близкий к анализируемым пробам.

При препаративном выделении фракции > 5 мкм отделение ила и мелкой пыли проводили методом многократного отмучивания после расчетной седиментации в столбе жидкости. В подготовке образцов использовали проверенные процедуры, удаляющие органическое вещество почв (ОВ) и карбонаты и не вызывающие изменений в структуре силикатных минеральных фаз. Образцы обрабатывали раствором 1 моль/л CH_3COOH , отмывали дистиллированной водой, затем в течение 15–20 дней подвергали многократной обработке H_2O_2 (30%) при комнатной температуре. Последующие операции включали отделение осадка центрифугированием и приготовление устойчивой суспензии в цилиндре емкостью 1 л.

Результаты и их обсуждение

Профильные кривые содержания Ti , Zr и Y во фракции > 5 мкм исследованных почв приведены на рис. 1. Их вид не вписывается в рамки плавного (без перегибов) и постепенного падения содержания стабильного компонента с глубиной, когда толща, для которой кривая становится параллельной оси глубины, может быть принята за исходную материнскую породу. Для выщелоченного чернозема на четвертичных делювиальных суглинках такая формулировка критерия однородности, очевидно, избыточна. Однако на кривых содержания Ti , Zr и Y четко проявляется перегиб в средней части профиля темно-серой лесной почвы (рис. 1, *a*), особенно сильно выраженный для содержания Zr . Для той же части профиля закономерные перегибы отмечаются и на профильных кривых отношения концентраций элементов.

Выделение фракции > 5 мкм исключало присутствие в ее составе ОВ и карбонатов. Транспорт дисперсных частиц, связанный с периодическим сквозным промачиванием профиля, для фракции > 5 мкм маловероятен. Тем не менее взятое само по себе наличие перегибов на кривых зависимостей Ti/Zr и Zr/Y от глубины для почвы, характеризующейся даже пусть и слабовыраженной химической элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля, не может быть безоговорочно принято как достаточное доказательство литологической

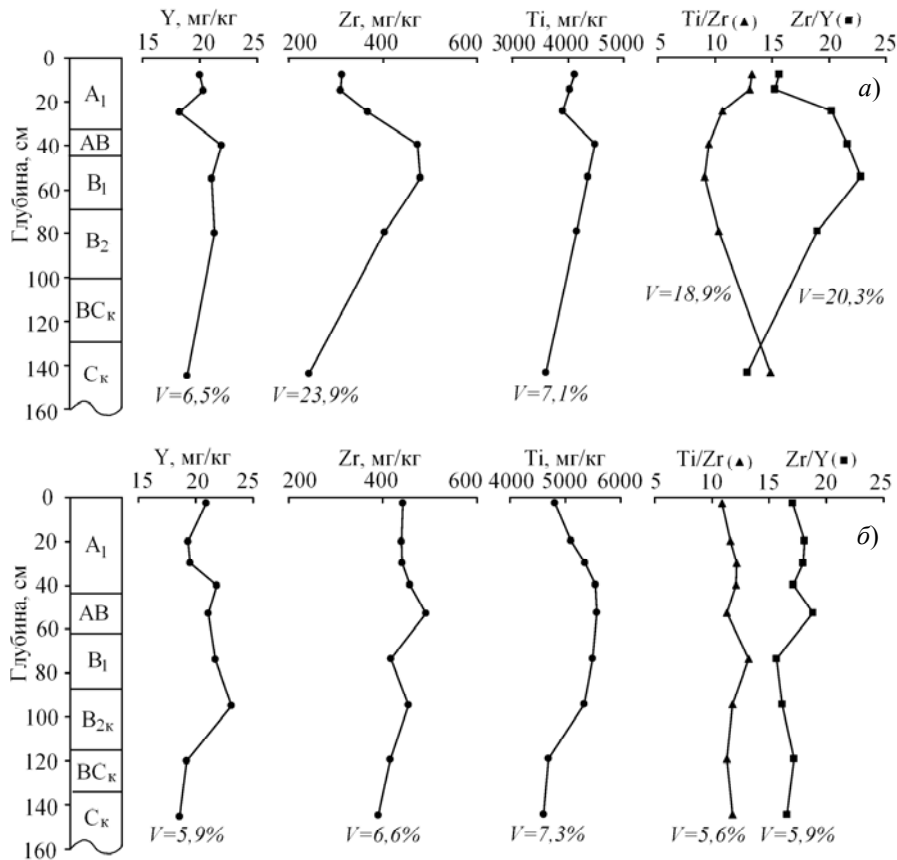


Рис. 1. Распределение содержания Y, Zr, Ti и отношений Ti/Zr, Zr/Y во фракции > 5 мкм по профилю темно-серой лесной почвы (а) и выщелоченного чернозема (б). Сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

неоднородности. Кроме того, чтобы провести границу между литологической неоднородностью и следами седиментационной слоистости исходного пермского алеврита, необходимы количественные критерии различий. Однако, по справедливому замечанию австралийских исследователей [30], до сих пор не достигнуто соглашения относительно того, какие различия между концентрациями Ti, Zr и Y или их отношениями следует считать достаточными, чтобы уверенно диагностировать исходную вертикальную неоднородность почвенного профиля. В одной из ранних работ как минимальное различие между горизонтами, свидетельствующее о литологической неоднородности, принималась величина 100% (то есть уменьшение наполовину или, напротив, удвоение отношения $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$). В более поздних работах как различающиеся рассматривались отношения Zr/Y с коэффициентом вариации (V) 30% [22] и 25% [24].

В этой ситуации можно было бы ограничиться двумя заключениями. Поскольку изменчивость величин концентрации Zr и отношений Ti/Zr и Zr/Y в профиле темно-серой лесной почвы приближается к пороговым значениям, то метод отношения концентраций целесообразно дополнить другими подходами. Литологическую же однородность чернозема следует уверенно принять, так как

значения V не превышают 10%. Обратим, однако, внимание еще на несколько обстоятельств. Продуктивное применение профильного метода часто осложняется тем, что пространственная неоднородность почвы наблюдается не только по вертикали, но и по горизонтали – в пределах одного почвенного горизонта либо на одной глубине. Это явление хорошо известно и обусловлено целым рядом факторов, часть из которых может иметь случайный характер, другие – регулярность в пространстве. Определение Ti , Zr и Y в образцах, не содержащих тонкодисперсных частиц, имеет некоторые преимущества, однако их приготовление достаточно трудоемко и длительно. Следует также заметить, что каких-либо общих правил в отношении выбора способа разложения почв не существует. В зависимости от состава, строения кристаллической решетки и других свойств подвергаемые вскрытию материалы различно относятся к реагентам, применяемым для разложения.

Для получения более адекватной информации об изменении содержания Ti , Zr и Y в профиле выщелоченного чернозема, учитывающей горизонтальную неоднородность, был проведен отбор образцов в 4-кратной повторности по схеме, предложенной американскими почвоведом для характеристики почвенного индивидуума [26]. Профильные образцы отбирались из четырех вертикальных колонок шириной 10 см, расположенных по две на противоположных боковых стенках разреза так, чтобы расстояние между ними составляло 1 м.

На рис. 2 представлены диаграммы размаха отношений Ti/Zr и Zr/Y в 36 профильных образцах (по 9 из каждой колонки). Анализ графиков показывает отсутствие сильных изменений значений медиан по профилю почвы, что может расцениваться как отсутствие литологической неоднородности. Размах значений медиан при использовании кислотной обработки характеризуется низкой горизонтальной вариабельностью. При использовании тетрабората натрия размах значений медиан отношений Ti/Zr и Zr/Y становится значительно выше, особенно в верхней части профиля с максимальным содержанием OB и в нижней части – с максимальным содержанием карбонатов.

Когда отсутствуют строгие и общепринятые количественные критерии диагностики литологической неоднородности по вертикальной вариабельности концентрацией Ti , Zr и Y или их отношений, становится необходимым применение аппарата математической статистики. В работе [34] показано, что дискриминантный анализ может быть весьма эффективным количественным подходом к оценке литологической однородности (неоднородности) почвенных профилей взамен обычной практики априорных заключений, основанных на полевых морфологических описаниях. Однако продуктивное применение этого подхода требует достаточно больших выборок данных валового анализа почв, сформированных на различных породах.

В геохимии известно, что распределение содержания в геологических объектах достаточно распространенных элементов обычно (но не всегда) подчиняется нормальному закону, а содержание элементов с концентрацией менее 1% – логнормальному, что обычно связывается с накоплением их в значительно завышенных концентрациях на геохимических барьерах. Четко выраженная геохимическая неоднородность геологических объектов проявляется обычно в полимодальном характере функций частот распределения концентраций химических

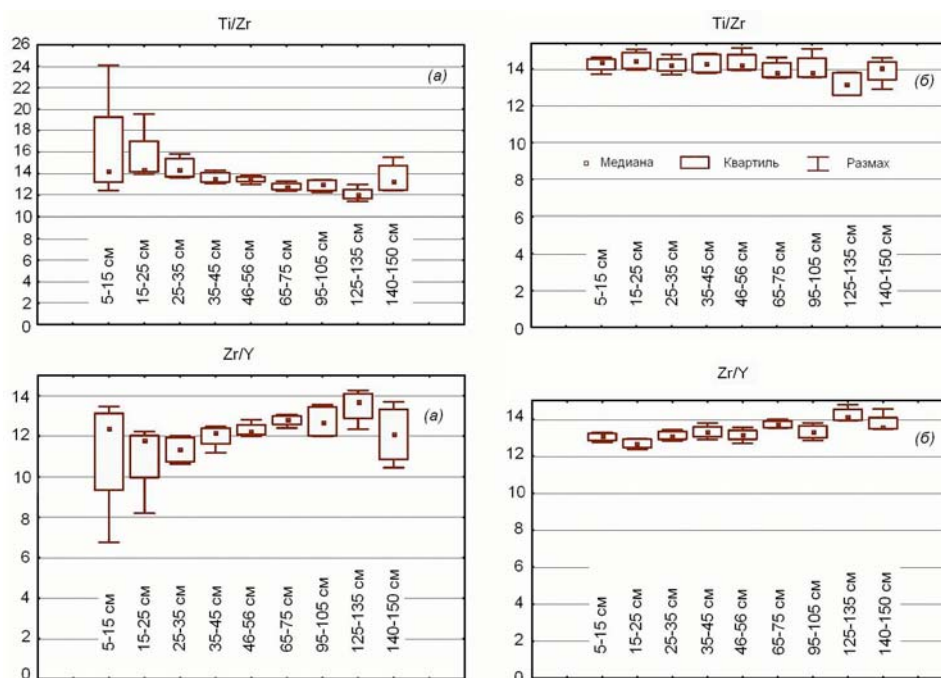


Рис. 2. Диаграммы размаха отношений Ti/Zr , Zr/Y в профиле выщелоченного чернозема: *a* – сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, *б* – обработка смесью HClO_4 , HNO_3 , HF

элементов. Поэтому была сделана попытка использовать подход, основанный на проверке соответствия профильного изменения содержания Ti , Zr и Y закону нормального распределения.

Будем исходить из того, что почвообразующие породы являются главным фактором, определяющим элементный состав почвенного материала. Однородность породы будет определять повышенную встречаемость значения случайной величины профильного распределения Ti , Zr и Y в одном интервале, неоднородность – в двух и более интервалах. Тогда распределение содержания элементов в профиле почвы на вертикально однородной породе будет характеризоваться мономодальным (и вероятнее всего нормальным), а на неоднородной – би- или полимодальным вероятностным распределением.

Величина V уже является косвенным показателем возможности аппроксимации распределения случайной величины нормальным законом. Когда $V < 30\%$, это может расцениваться как серьезный аргумент в пользу того, что выборка подчиняется нормальному распределению [35]. Поэтому для оценки гипотезы нормального распределения Ti , Zr и Y использовали результаты анализа образцов чернозема, в профиле которого вариабельность содержания этих элементов достаточно мала. При этом исходили из предположения о случайном характере вариаций содержания стабильных элементов как по профилю почвы, так и в почвенных колонках, что позволяло совокупность из 36 значений для каждого элемента рассматривать как единую совокупность. Оценку нормальности распределения проводили по критериям Колмогорова – Смирнова/Лиллифорса и Шапиро – Уилка. Результаты проверки гипотезы распределения приведены в табл. 1.

Табл. 1

Результаты проверки гипотезы нормальности распределения стабильных элементов в профиле выщелоченного чернозема

Элемент	Метод разложения	Критерий Колмогорова – Смирнова/Лиллифорса			Критерий Шапиро – Уилка		
		Значение статистики	Уровень статистической значимости	Вывод (5%)	Значение статистики	Уровень статистической значимости	Вывод (5%)
Ti	Сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0.129	0.138	Малое подтверждение против нормальности	0.901	0.004	Нормальность отклонена
	Обработка HClO_4 , HNO_3 , HF	0.134	0.107	Малое подтверждение против нормальности	0.941	0.056	Нормальность принята
Zr	Сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0.125	0.167	Никаких подтверждений против нормальности	0.890	0.002	Нормальность отклонена
	Обработка HClO_4 , HNO_3 , HF	0.112	0.297	Никаких подтверждений против нормальности	0.975	0.567	Нормальность принята
Y	Сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0.126	0.160	Никаких подтверждений против нормальности	0.927	0.020	Нормальность отклонена
	Обработка HClO_4 , HNO_3 , HF	0.087	0.697	Никаких подтверждений против нормальности	0.973	0.527	Нормальность принята

Из таблицы следует, что по критерию Колмогорова – Смирнова/ Лиллифорса, кроме Ti, нормальность распределения подтверждается. Однако при более строгом подходе с применением дополнительно к критерию Колмогорова-Смирнова/Лиллифорса критерия Шапиро – Уилка нормальность уверенно по обоим критериям (при 5%-ном уровне значимости) принимается только для распределения Zr и Y при использовании кислотного разложения образцов почв. Ограничения для использования Ti в качестве индексного элемента обсуждались выше. Полученные результаты, кроме того, показывают неоднозначность такой обычной методики вскрытия трудноразлагаемых минералов, как сплавление с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, скорее всего, обусловленную присутствием в почвенных образцах ОВ и карбонатов. Эти причины, по-видимому, могут нарушать случайный характер распределения Ti, Zr и Y в профиле чернозема, что и отразилось на результатах проверки гипотезы нормального распределения.

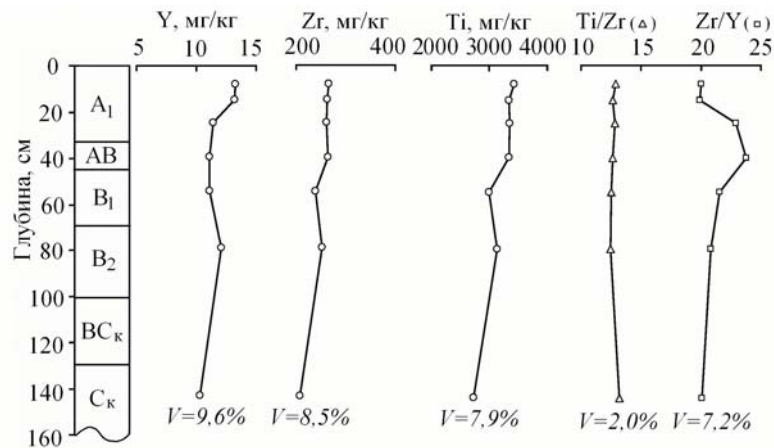


Рис. 3. Распределение содержания Y, Zr, Ti и отношений Ti/Zr, Zr/Y во фракции > 5 мкм по профилю темно-серой лесной почвы. Обработка смесью HClO_4 , HNO_3 , HF

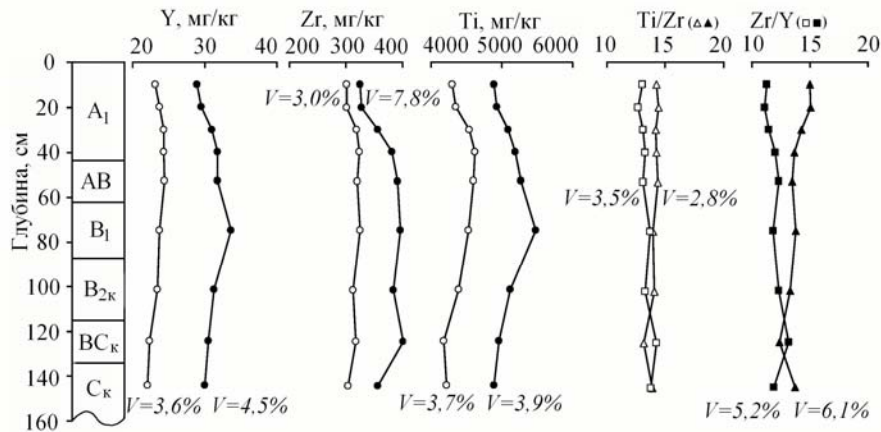


Рис. 4. Распределение содержания Y, Zr, Ti в пересчете на прокаленную навеску и отношений Ti/Zr, Zr/Y в профиле выщелоченного чернозема при использовании для вскрытия проб обработки смесью HClO_4 , HNO_3 , HF. ($\circ\triangle\square$) и сплавления с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ($\bullet\blacktriangle\blacksquare$)

Отдельный вопрос – сопоставимость между различными процедурами пробоподготовки образцов к элементному анализу. Выше приводились данные по профильному распределению Y, Zr, Ti в темно-серой лесной почве (рис. 1, а), полученные при сплавлении с $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. На рис. 3 показаны те же распределения, но при использовании кислотной обработки. Профильные кривые концентраций элементов становятся сглаженными, а отношение Ti/Zr практически совпадает с осью глубины. И только на кривой отношения Zr/Y сохраняется перегиб, несколько смещенный к верхней части профиля, но уже при существенно меньшей вариабельности (значения V для концентраций Y, Zr, Ti и их отношений не превышают 10%).

Сопоставление данных, полученных при использовании двух способов разложения для совокупности профильных образцов чернозема, показывает существенное их подобие (рис. 4). Однако для обеих лесостепных почв полнота вскрытия

при использовании сплавления с тетраборатом натрия значительно выше, чем при кислотном разложении. В каждом конкретном случае выбор способа разложения определяется рядом соображений, главным из которых является полнота вскрытия используемого образца. Используемые в работе способы отличаются уже в самих принципах, положенных в их основу. Определенные коррективы, как оказалось, могут вносить и специфические особенности почвенных образцов. Из сопоставления данных просто вытекает, что для достоверной интерпретации профильного распределения концентраций Y, Zr, Ti и их отношений нельзя ограничиваться одним способом вскрытия образца.

Заключение

Подтверждена перспективность использования показателей распределения Ti, Zr и Y в профилях лесостепных почв РТ, сформированных на рыхлых почвообразующих породах, для оценки их исходной вертикальной однородности. Применение этого подхода может заметно сузить круг почвенных объектов, к результатам химического анализа которых приложим интерпретационный потенциал классической «А–В–С-модели». Он будет полезен при выборе способов решения не только фундаментальных проблем, например оценки изменения почвы в ходе развития, но и прикладных задач, например при оценке загрязнения почвенного профиля тяжелыми металлами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-04-00952).

Summary

A.A. Shinkarev, A.G. Kornilova, T.Z. Lygina, K.G. Giniyatullin, R.R. Gilmudinov. Assessing Parent Material Uniformity by Elemental Analysis.

A critical analysis of existing approaches to an assessment of initial vertical parent material uniformity was carried out. The depth function of Ti, Zr, Y contents and ratios in the profiles of two forest-steppe soils formed in usual for the Middle Volga region loose deposits were studied. For diagnostics of parent material uniformity being based on a stable index constituent it is necessary to use special methods of preparation of samples for the analysis, or such sampling scheme within individual pedons, which allows to estimate reliability of results statistically. For realistic interpretation of the Ti, Zr and Y depth distribution it is recommended to use different ways of soil sample decomposition.

Key words: soil, parent material uniformity, Ti, Zr and Y distribution.

Литература

1. *Barshad I.* Chemistry of soil development // Chemistry of the Soil / Ed. by F.E. Bear. – N. Y.: Reinhold Publ. Co., 1965. – P. 1–70.
2. *Brewer R.* Fabric and mineral analysis of soils. – N. Y.: Robert E. Krieger Publ. Co., 1976. – 482 p.
3. *West L.T., Wilding L.P., Stahnke C.R., Hallmark C.T.* Calciustolls in Central Texas: I. Parent material uniformity and hillslope effects on carbonate-enriched horizons // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1988. – V. 52. – P. 1722–1731.

4. *Wilding L.P., Drees L.R.* Spatial variability and pedology // Pedogenesis and soil taxonomy: Concept and interactions / Ed. by L.P. Wilding et al. – Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co., 1983. – P. 83–116.
5. *Gamble E.F., Daniels R.B., McCracken R.J.* A2 horizon of Coastal Plain soils – pedogenetic or geologic origin // Southeast. Geol. – 1970. – V. 11. – P. 137–152.
6. *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. – V. 44. – P. 43–75.
7. *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. – V. 53. – P. 1108–1114.
8. *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. – V. 57. – P. 414–421.
9. *Beshay N.F., Sallam A.Sh.* Evaluation of some methods for establishing uniformity of profile parent materials // Arid Land Res. Manage. – 1995. – V. 9. – P. 63–72.
10. *Tsai C.C., Chen Z.S.* Lithologic discontinuities in ultisols along a toposequence in Taiwan // Soil Sci. – 2000. – V. 165. – P. 587–596.
11. *Shaw J.N., West L.T., Bosch D.D., Truman C.C., Leigh D.S.* Parent material influence on soil distribution and genesis in a Paleudult and Kandiodult complex, southeastern USA // Catena. – V. 57. – 2004. – P. 157–174.
12. *Drees L.R., Wilding L.P., Smeck N.E., Senkayi A.L.* Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs // Minerals in soil environment / Ed. by J.B. Dixon, S.B. Weed. – Madison, WI: Soil Sci. Soc. Amer., 1989. – P. 913–974.
13. *Marshall L.E., Haseman J.F.* The quantitative evaluation of soil formation and development by heavy mineral studies: a Grundy silt loam profile // Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1942. – V. 6. – P. 448–453.
14. *Haseman J. F., Marshall C.E.* The use of heavy minerals in studies of the origin and development of soils // Missouri Agr. Exp. Stat. Res. Bull. – 1945. – V. 387. – 75 p.
15. *Miltner A.R., Fitzpatrick R.W.* Titanium and zirconium minerals // Minerals in soil environment / Ed. by J.B. Dixon, S.B. Weed. – Madison, WI: Soil Sci. Soc. Amer., 1989. – P. 1131–1208.
16. *Tejan-Kella M.S., Fitzpatrick R.W., Chittleborough D.J.* Scanning electron microscope study of zircons and rutiles from podzol chronosequences at Cooloolo, Queensland, Australia // Catena. – 1991. – V. 18. – P. 11–30.
17. *Tejan-Kella M.S., Chittleborough D.J., Fitzpatrick R.W.* Weathering assessment of heavy minerals in age sequences of Australian sandy soils // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1991. – V. 55. – P. 427–438.
18. *Khan D.H.* Studies on translocation of chemical constituents in some red-brown earth soils, Terra Rossas, and Renzina, using zirconium as a weathering index // Soil Sci. – 1959. – V. 88. – P. 196–200.
19. *Robson D.A.* The persistence of zircons in the clastics of sedimentary succession in Northern Britain: an SEM study // Clastic Particles: Scanning Electron Microscopy and Shape Analysis of Sedimentary and Volcanic Clasts / Ed. by J.R. Marshall. – N. Y.: Van Nostrand Reinhold Co., 1987. – P. 51–64.
20. *Chapman S.L., Horn M.E.* Parent material uniformity and origin of silty soils in North-west Arkansas based on zirconium-titanium contents // Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1968. – V. 32. – P. 265–271.

21. *Sudom M.D., St Arnaud R.J.* Use of quartz, zirconium and titanium as indices in pedological studies // *Can. J. Soil Sci.* – 1971. – V. 51. – P. 385–396.
22. *Murad E.* Yttrium and zirconium as geochemical guide elements in soil and stream sediment sequences // *J. Soil Sci.* – 1978. – V. 29. – P. 219–223.
23. *Chittleborough D.J., Oades J.M., Walker P.H.* Textural differentiation in chronosequences from eastern Australia. III. Evidence from elemental chemistry // *Geoderma.* – 1984. – V. 32. – P. 227–248.
24. *Marsan F.A. Bain D.C. Duthie D.M.L.* Parent material uniformity and degree of weathering in a soil chronosequence, northwestern Italy // *Catena.* – 1988. – V. 15. – P. 507–517.
25. *Smeck N.E., Torrent J., Barron V.* Interactions and weathering losses of iron and phosphorus in Palexeralfs of southern Spain // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1994. – V. 58. – P. 1723–1729.
26. *Drees L.R., Wilding L.P.* Elemental variability within a sampling units // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1973. – V. 37. – P. 72–87.
27. *Rutledge E.M., Wilding L.P., Hall G.F., Holowaychuk N.* Loess in Ohio in relation to several possible source areas: Elemental and mineralogical composition // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* – 1975. – V. 39. – P. 1133–1139.
28. *Rostad H.P.W., Smeck N.E., Wilding L.P.* Genesis of argillic horizons in soils derived from coarse-textured calcareous gravels // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1976. – V. 40. – P. 739–744.
29. *Chittleborough D.J., Oades J.M.* The development of a red-brown earth. II. Uniformity of parent material // *Aust. J. Soil Res.* – 1980. – V. 18. – P. 375–382.
30. *Anda M., Chittleborough D.J., Fitzpatrick R.W.* Assessing parent material uniformity of a red and black soil complex in the landscapes // *Catena.* – 2009. – V. 78. – P. 142–153.
31. *Kaup B.S., Carter B.J.* Determining Ti source and distribution within a Paleustalf by micromorphology, submicroscopy and elemental analysis // *Geoderma.* – 1987. – V. 40. – P. 141–156.
32. *Aide M.T., Heberlie L., Statler P.* Soil genesis on felsic rocks in the St. Francois Mountains. II. The distribution of elements and their use in understanding weathering and elemental loss rates during genesis // *Soil Sci.* – 1999. – V. 164. – P. 946–959.
33. *Drees L.R., Wilding L.P.* Elemental distribution in the light mineral isolate of soil separates // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1978. – V. 42. – P. 976–978.
34. *Norton, L.D., Hall G.F.* Differentiation of lithologically similar soil parent materials // *Soil Sci. Soc. Am. J.* – 1985. – V. 49. – P. 409–414.
35. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 320 с.

Поступила в редакцию
07.06.10

Шинкарев Александр Александрович – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: Ashinkar@mail.ru

Корнилова Анастасия Геннадиевна – младший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых, г. Казань.

E-mail: Kornilova-anasta@mail.ru

Лыгина Таля Зинуровна – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель директора по науке Центрального научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых, г. Казань.

E-mail: *Lygina@geolnerud.net*

Гиниятуллин Камиль Гашикович – кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Ginijatullin@mail.ru*

Гильмутдинов Руслан Равилевич – младший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института геологии нерудных полезных ископаемых, г. Казань.

E-mail: *Atsic@geolnerud.com*