

МИНЕРАЛОГИЯ
И МИКРОМОРФОЛОГИЯ ПОЧВ

УДК 631.4:549:528.94

КАРТОГРАФИЯ СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ПОЧВ
И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД МОЛДАВИИ

© 2019 г. В. Е. Алексеев¹, *, Ю. Г. Розлога¹

¹Институт почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н.А. Димо, Молдавия, 2070, Кишинев, ул. Яловенская, 100
*e-mail: oks40@list.ru

Поступила в редакцию 03.05.2018 г.
После доработки 16.07.2018 г.
Принята к публикации 24.10.2018 г.

Дан краткий анализ состояния картографирования минералогического состава почв в мире, в частности, в таких странах, как Великобритания (Англия и Уэльс), Канада, США, Австралия, Венгрия, бывший СССР и Россия. В большинстве стран объектом картографирования являлся состав только глинистых минералов, за исключением картографических материалов по территории США, которые включали информацию о минералогическом составе грубодисперсных фракций. Цель данной публикации – проанализировать имеющийся опыт картографирования минералогического состава почв для территории Молдавии – небольшой страны со степными и лесостепными ландшафтами, выявить достижения и возникающие в этой области проблемы. В отличие от других стран, где объектом картографирования были ассоциации глинистых минералов, для территории Молдавии, благодаря специфике минералогического состава почв и пород, разработке и применению определенной методики и использованию составленной базы данных, стало возможным составление карт содержания отдельных минералов, как глинистых, так и находящихся в составе грубодисперсных фракций. Впервые по материалам систематических исследований методом количественной рентгеновской дифрактометрии и статистического анализа результатов составлены цифровые карты содержания различных минералов в почвах Молдавии. Найденная тесная зависимость между содержанием отдельных минералов и гранулометрическим составом почв дала возможность вести картографирование минералогического состава почв в соответствии с этим показателем. В качестве примера представлены цифровые карты масштаба 1 : 3 000 000 содержания преобладающих в почвах Молдавии глинистых минералов: смектита и иллита в гор. А и в почвообразующих породах черноземов и лесных почв. Приведена статистическая обработка данных по содержанию минералов в этих почвах разного гранулометрического состава. Установлено, что содержание в них смектита изменяется в пределах 6–43%, иллита – в пределах 3–16%. Выявлены статистически достоверные различия в содержании смектита и иллита между гор. А почв и соответствующей почвообразующей породой. Описана методика составления карт, названы области их практического применения.

Ключевые слова: глинистые минералы, количественная рентгендифрактометрия, иллиты, смектиты, гранулометрический состав

DOI: 10.1134/S0032180X19040038

ВВЕДЕНИЕ

Прошло 30 лет со дня опубликования нами в журнале “Почвоведение” статьи, посвященной опыту составления карт минералогического состава почв на примере Молдавии [5]. К тому времени уже был накоплен исследовательский материал, который позволял это сделать. В статье отмечалось, что необходимость создания карт минералогического состава почв обусловлена той фундаментальной ролью, которую играют минералы в формировании свойств почв. Так, глинистые минералы определяют сорбционные свойства почв, что имеет огромное значение для жизни самой почвы, ее реакции на внешние воздействия, в обеспечении растений элементами питания, при-

менении и использовании удобрений, пестицидов, правильном подходе к орошению почв и др. Состав минералов задает механические, реологические свойства почв, набухающие глинистые минералы обуславливают их просадочные свойства, от состава минералов зависит противоэрозийная и противооползневая устойчивость почв. Слюды, калиевые полевые шпаты, иллиты, иллит-смектиты определяют обеспеченность почв калием и другими важными для живых организмов элементами. Минералогический состав почв указывает на происхождение пород и формирующихся на них почв, на историю их формирования. Можно говорить о многих других свойствах почв, которые определяются составом их минералов.

Тогда же было отмечено, что примеров составления карт минералогического состава почв очень мало. Называлась работа Лавленда по подготовке карты масштаба 1 : 250000 по содержанию глинистых минералов во фракции <2 мкм основных почв Англии и Уэльса [22]. С учетом истории исследований и качества материала автором была поставлена задача объектом картографирования сделать не минералы, а их классы, территориально приуроченные к различным почвам, но к одним и тем же почвообразующим породам. Выделение классов основывалось на преобладающем минерале (не менее чем на 25% любого другого) в сочетании с данными по содержанию во фракции K_2O и ее емкости катионного обмена. Содержание минералов определялось полуколичественно по интенсивностям рефлексов рентгеновской дифракции в 10-балльном измерении (1 балл – 10%). Классам присваивались названия: смектитовый, слюдястый, смешанный и др. Сведений, как развивались эти работы в Англии в дальнейшем, установить не удалось.

В другой работе, принадлежащей венгерским почвоведом, сообщалось о составленной для почв Венгрии карте ассоциаций глинистых минералов [27]. На этой карте выделено 7 типов таких ассоциаций. Последующая судьба развития этого направления нам также осталась неизвестной.

В конце 80-х–начале 90-х годов прошлого столетия основательные исследования в Канаде завершились созданием карты почв масштаба 1 : 5 млн по составу глинистых минералов фракции <2 мкм [21]. В ее основу легли данные исследований с 1937 по 1990 гг. по примерно 1500 образцам из 500 педонов. Любопытно, что количественная оценка минералов была осуществлена на 9 уровнях точности с помощью 9 классов обозначений, начиная с оценки интенсивности рефлексов разными знаками, а также таких определений, как “мало”, “средне”, “много” или количеством знаков “+” до массовых процентов по результатам последних исследований. В этом сказалось постепенное совершенствование со временем количественной оценки глинистых минералов, как известно непростой задачи. Минералогическая карта используется совместно с Почвенной картой Канады (1 : 5 млн). Она также служит слоем информации в геоинформационной системе. Согласно этой карте, канадские почвы по минералогическим показателям классифицируются по четырем основным группам: слюдястые, смектитовые, смешанные и другие. Выделены три группы по гранулометрическому составу: песчаные, суглинистые и глинистые, устанавливаемые по содержанию глины – соответственно <10, 10–35, >35%. Данные по минералогическому составу глинистой фракции используются для определения классов минералогии почвенного семейства в таксономии почв и Канадской системе

классификации почв. Как отмечается, им принадлежит большая роль при изучении взаимосвязи между минералогическим составом глины и пестицидами в районах интенсивного их применения, при установлении мест, где следует ожидать повышенную фиксацию калия и аммония, выраженное закрепление фосфора или набухание и усадку почвы в смектитовых почвах прерий и т. д.

О состоянии проблемы минералогической картографии почв в США судим на основании публикации [25]. В 2007 г. Геологическая служба США инициировала геохимические и минералогические исследования почв Соединенных Штатов. С этой целью на каждых 1600 км² был произведен отбор почвенных образцов. Всего было заложено около 5000 участков. На каждом участке отбирался образец с глубины 0–5 см, представляющий часть гор. А, и образец из гор. С с глубины около 80–100 см. Фракция <2 мм каждого образца была проанализирована на содержание 45 основных элементов и микроэлементов и основных минералов. Минералогические исследования проведены методом количественной рентгеновской дифрактометрии с использованием уточнения Ритвельда. Установлено содержание в почве основных грубодисперсных и глинистых минералов. Химические и минералогические анализы были завершены к 2013 г. Таким образом, созданные карты минералогического состава почв являются результатом лабораторных анализов образцов почв в фиксированных точках через каждые 40 км, которые затем были интерполированы методами геостатистики. В результате пространственное варьирование свойств почв на расстояниях менее 40 км остается не учтенным. Вместе с тем обобщенная картина по стране установлена. Как сообщается, полученные результаты дают определенное представление о содержании и пространственном распределении химических элементов и минералов в почвах США и могут быть использованы как базовый уровень информации о геохимии и минералогии почв, по отношению к которому в дальнейшем будет вестись мониторинг.

Другие тенденции в мировой практике в картографирования почв по минералогическому составу связаны с использованием данных проксимального (ближнего) и дистанционного зондирования. Под этим понимается получение сведений о минералах почв, их содержании на основании результатов полевых, лабораторных и космических исследований с помощью спектрального зондирования почв. Формируются спектральные библиотеки, такие как ASTER 2.0, где собраны тысячи спектров широкого набора минералов, пород, растительности и других объектов в диапазоне длин волн 0.4–15.4 мкм [19, 23, 24, 28]. Успехи этого направления в картографировании минералогического состава почв пока ограничены. Причина в том, что отражательная способность

почв недостаточно изучена, поскольку на нее влияет много факторов, которые изменяют спектры отражения. Недостаточно изучены связи свойств поверхности почв и нижележащих генетических горизонтов [17]. Интересным примером и значительным достижением является создание карты распространения в почвах Австралии глинистых минералов каолинита, иллита и смектита с использованием ближней инфракрасной спектроскопии [29].

С картографическим материалом по минералогическому составу почв в бывшем СССР и современной России можно ознакомиться по “Национальному атласу почв Российской Федерации” [16]. В его разделе “Почвенный покров” представлена карта масштаба 1 : 30 млн “Гранулопетрографо-минералогических разрядов почв” России, составленная Б.П. Градусовым. По замечанию автора в ее основу легли исследования ведущих специалистов факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, Почвенного института им. В.В. Докучаева и ряда почвенных учреждений бывшего СССР. На карте показано размещение 20 таких разрядов почв. Их перечень начинается с серпентинового, хлорит-смектитового и заканчивается хлорит-смектит-гидрослюдистым. По определению автора, “грануло-петрографо-минералогические разряды – это группы почв, характеризующиеся общностью гранулометрического и петрографического составов, минералогического состава грубо- и тонкодисперсных частей, распределения по профилю илистого вещества и важнейших показателей химического состава” [16, с. 217]. Карта разрядов является дополнением к почвенной карте. В разделе атласа “Почвы Российской Федерации” карты распространения отдельных типов почв сопровождаются цветными диаграммами профильного распределения в них основных групп глинистых минералов, установленных исследованиями Т.А. Соколовой.

Другие работы картографического характера времени бывшего СССР по минералогическому составу почв мира также связаны с именем Б.П. Градусова [10–12]. Они явились результатом его собственных исследований и изучения работ других авторов. В своих публикациях Б.П. Градусов представил картосхемы Земли с размещением на ней: а) смектитового компонента разных кристаллохимических форм и генетических групп в почвах, сформировавшихся на породах четвертичного, третичного и более древнего возраста [12]; б) каолинового минерала в почвах, корях выветривания и осадочных отложениях [11]; в) в почвообразующих породах и почвах гидрослюдов, хлоритов, смектита, каолинита, в пеплопадных почвах аморфных соединений и аллофанов [10].

Этот небольшой обзор литературы позволяет в самых общих чертах получить представление о

положении дел в мире с картографией почв по их минералогическому составу. Обращает на себя внимание то, что главным объектом картографирования являются глинистые минералы и, как правило, игнорируются первичные минералы. По-прежнему остается проблемой определение содержания в почвах глинистых минералов и отображение его на картах. Видимо, стремление найти более легкий и перспективный путь, каковым, в частности, может служить спектральное зондирование почв, можно объяснить высокими трудоемкостью и затратностью минералогических исследований.

Цель работы – показать как складывается ситуация с минералогической картографией почв в Молдавии, небольшой стране со степными и лесостепными ландшафтами, какие имеются достижения, недостатки и возникающие затруднения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Более 70% территории Молдавии занимают черноземы. В соответствии с классификацией [13] около 40% из них принадлежат карбонатным и обыкновенным, 23% составляют типичные, выщелоченные и оподзоленные черноземы, менее 1% слитые черноземы (вертисоли) [15]. Лесные почвы (серые и бурые) занимают около 11% территории, эродированные 26%, аллювиальные около 8%. Согласно номенклатуре WRB [30], названные почвы следует отнести к почвенным группам Chernozems, Phaeozems, Luvisols, Cambisols, Vertisols, Fluvisols. Все они были охвачены минералогическими исследованиями.

В дальнейшем изложении методики исследования будем придерживаться сравнительного принципа с уже известным опытом минералогической картографии почв в других странах. Отметим, что данные по минералогическому составу почв Молдавии, главным образом, получены в процессе их генетических исследований. Поэтому разрезы зональных почв закладывались преимущественно на водораздельных пространствах, а не по принципу равномерного покрытия территории страны, и приемы геостатистики при картографировании минералогии почв не использовались.

Основными почвообразующими породами в Молдавии являются четвертичные лёссовидные суглинки разного гранулометрического состава. На севере республики распространены осадочные отложения, продукты элювиально-делювиальной переработки позднемиоценовых и плиоценовых тяжелых суглинков и легких глин. На высоких отметках Кодр значительное место занимают супеси и легкие суглинки этого же возраста. На сохранившихся неогеновых поверхностях выравнивания имеют место выходы средних и тяжелых глин. Следует отметить в целом недостаточ-

ную изученность перечисленных осадочных образований в классификационном отношении и в отношении площадей распространения, а также отсутствие существенных различий в качественном составе породообразующих минералов. Последнее объясняется высокой степенью наследования четвертичными породами материала неогеновых, в основном сарматских, отложений на всей территории Молдавии [1, 2, 9, 14].

Практически все почвы Молдавии сформировались на осадочных отложениях, от супесей до тяжелых глин включительно, с преобладанием среди них суглинков тяжелой разновидности. Осадочное происхождение пород сыграло важную роль в принципиальном подходе к минералогической картографии почв. В ходе исследования установлена зависимость содержания силикатных минералов как от типа почв [5], так и от размера минеральных частиц, иначе говоря, от гранулометрического состава почв [3]. В отличие от упомянутых ранее стран минералогическое картографирование почв в Молдавии может включать не только глинистые, но и первичные минералы, поскольку исследование вели в равной степени и тех, и других. Глинистые минералы (смектит, иллит, хлорит, каолинит) изучали во фракции <1 мкм, а не во фракции <2 мкм, как в большинстве западных стран. Содержание первичных минералов (кварца, полевых шпатов, слюды, хлорита) устанавливали по методике [6] в вес. % от фракции >1 мкм и почвы. На количественной оценке содержания в почве глинистых минералов остановимся подробнее.

В бывшем СССР при определении содержания глинистых минералов в почвах в основном использовали две методики, претерпевшие некоторую модификацию: американского ученого Бискайе [20] и разработанную на факультете почвоведения МГУ Корнблумом [18]. При выборе подходящей методики собственных исследований нами в свое время было установлено, что методика Бискайе на молдавских черноземах примерно вдвое завывает содержание иллита, входит в противоречие с содержанием в иле оксида калия и существенно занижает содержание смектита [3]. Руководствуясь отсутствием общепризнанной методики определения глинистых минералов в стране и мире и стремлением упростить решение этой задачи в отношении почв Молдавии, мы разработали свою методику [4], кратко изложенную ниже.

Содержание глинистых минералов определяли в процентах от суммы величин их базальных диагностических рефлексов, которую принимали за 100%. Величину диагностического рефлекса устанавливали по его высоте. В качестве диагностического рефлекса смектита использовали отражение в 1.4 нм, иллита — 1.0 нм, хлорита — 0.47 нм от образца в воздушно-сухом состоянии, насы-

щенного магнем. Содержание каолинита определяли по разнице высот между 0.7 нм рефлексом (сумма рефлексов первого порядка каолинита и второго порядка хлорита) и 0.47 нм рефлексом третьего порядка хлорита. Поправку на LP-фактор не вводили. При измерении рефлексов использовали специальный графарет, воспроизводящий кривую линии фона. Ее установили по дифрактограмме образца глинистой фракции почвы, прокаленного при 500°C, и использовали при анализе глинистых и первичных минералов. Все измерения проводили на дифрактограммах воздушно-сухих Mg-препаратов.

Позднее сумма диагностических рефлексов в 100% была приравнена к 100 вес. %. Основанием для этого послужили следующие обстоятельства. Путем дробного фракционирования ила было установлено, что смектит (комплекс смектита и смешанослойного неупорядоченного иллит-смектита с высокой нормой смектитовых пакетов) полностью сконцентрирован в его подфракции размера <0.02 мкм [7]. Содержание этой подфракции в иле по профилю зональных черноземов колебалось в пределах 40–60% его веса и оказалось соизмеримым с таким же вкладом рефлекса смектита (1.4 нм) в 100%-ную сумму диагностических рефлексов минералов. Соизмеримость присутствовала также между 20–30%-ным вкладом 1.0 нм рефлекса иллита в ту же сумму диагностических рефлексов минералов и содержанием в иле по результатам валового химического анализа оксида K₂O в количестве 2–3%, в основном принадлежащего этому минералу. Главный вклад в ил, в весовом отношении составляющий около 80%, принадлежит смектиту и иллиту. Остальная часть ила распределяется между хлоритом и каолинитом в соответствии с вкладом их рефлексов в 100%-ную сумму. Ко всему изложенному важно добавить, что между валовым химическим составом чернозема, полученным в результате химического анализа и рассчитанным по содержанию первичных и глинистых минералов, получена хорошая сходимость [8].

Известно, что количественный рентгеновский анализ почвенных минералов сопряжен с большими трудностями как по причине химического изоморфизма и структурной изменчивости одних и тех же минералов, так и из-за их трансформации под воздействием процессов выветривания и почвообразования. Особые проблемы возникают с количественной оценкой глинистых минералов. В этой связи представляется проблематичным, что когда-нибудь задача количественного анализа глинистых минералов в почвах будет решена таким образом, что полученные результаты не будут вызывать никаких вопросов. Несмотря на это исследования ведутся, и почвенно-минералогические карты составляются.

Как отмечено выше, в Англии, Канаде и Венгрии объектом картографирования являлись ассоциации глинистых минералов, а не отдельные минералы. Зависимость содержания минералов от гранулометрического состава почв показала возможность вести минералогическое картографирование в соответствии с этим показателем, а не посредством привязки определенных ассоциаций глинистых минералов к определенным почвам. В результате представилась возможность вести минералогическое картографирование почв Молдавии по отдельным минералам.

Обеспеченность почв Молдавии минералогическими анализами по сравнению с другими странами, например, Канадой, трудно сопоставима. На период создания карты ассоциаций глинистых минералов в почвах Канады (1993 г.) были собраны данные по 500 педонам и 1500 образцам [21]. Столько же изучено образцов коренных пород. Сегодня объем исследований в Канаде, по всей вероятности, значительно больше. Площадь, охваченная почвенной картой (11 административных территорий), в этой стране составила около 7.8 млн км². Таким образом, на прошлый период один минералогический анализ приходился примерно на 2600 км². В Молдавии на 34 тыс. км² проанализировано 153 разреза и около 750 образцов. Один разрез приходится примерно на 220 км². Причем установлен полный набор порообразующих первичных и глинистых минералов в основных генетических горизонтах почв и породах. При картографировании предпочли руководствоваться не содержанием минерала в той или иной фракции, а его валовым количеством в почве.

Мы отдаем себе отчет в том, что по сравнению с вышеупомянутыми странами, ситуация с минералогической картографией почв в Молдавии сложилась существенно проще. Прежде всего, потому что размеры страны несравнимо меньше, нет такого разнообразия почв и почвообразующих пород. Почвообразующие породы представлены только осадочными отложениями. Большую положительную роль сыграло то обстоятельство, что минералогические исследования почв были проведены в более короткий срок, менее 50 лет. Они выполнены в одной лаборатории и в основном силами одних и тех же специалистов и по одним и тем же методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем распоряжении находились данные по содержанию первичных (кварц, полевые шпаты, слюды, хлорит) и глинистых (смектит, иллит, хлорит, каолинит) минералов в основных почвах Молдавии по их генетическим горизонтам и в почвообразующих породах. Они охватывают все

главные подразделения почв по гранулометрическому составу. Создана база данных в формате Excel, которая за последние 20 лет была существенно пополнена. Разносторонняя статистическая обработка этого материала показала, что картографирование минералогического состава почв республики можно вести по основным типам (черноземам и лесным почвам), отдельным минералам, генетическим горизонтам и почвообразующим породам черноземов и лесных почв, гранулометрическому составу.

Накопленный за последние 20 лет новый исследовательский материал потребовал проведения дополнительных статистических расчетов по уточнению содержания минералов в почвах Молдавии. На этом этапе было решено ограничиться данными по лесным почвам и черноземам и картами содержания в них наиболее распространенных и важных в теоретическом и прикладном отношении глинистых минералов (смектита и иллита) и только в почвообразующих породах и гор. А. Смектит представляет собой глинистый минерал высочайшей степени дисперсности, обладающий уникальными свойствами. Прежде всего, его отличает исключительно высокая емкость поглощения, характеризующая в большой мере поглощательные и обменные свойства молдавских почв. Смектит – прекрасный структурообразователь, чем во многом можно объяснить высокую степень оструктуренности почв страны при собственных им в целом высоком содержании органического вещества и преобладании Са в ППК. Почвы Молдавии отличаются высоким содержанием этого минерала. Иллит также относится к весьма полезным почвенным минералам. Иллит – минерал, содержащий калий, концентрация оксида этого элемента может достигать 10%. В почвах республики он является важнейшим природным источником и ближайшим резервом калия для сельскохозяйственных растений. Вместе с тем данный глинистый минерал является богатым источником микроэлементов, а также эффективным адсорбентом радионуклида ¹³⁷Cs, калия и аммония.

В статье представлены 4 карты масштаба 1 : 3 млн, характеризующие содержание названных минералов в лесных почвах и черноземах Молдавии (рис. 1, 2). Отображение минералогической ситуации в аллювиальных почвах при данном масштабе картографирования, их небольшой площади и высокой комплексности по гранулометрическому составу оказалось затруднительным. Поэтому эти почвы на данных минералогических картах остались не охарактеризованными. Некоторые осложнения возникли с эродированными почвами. Им принадлежит около четверти почвенного покрова республики. Примерно 60% эродированных почв составляют слабосмытые черноземы, сохранившие более половины гор. А.

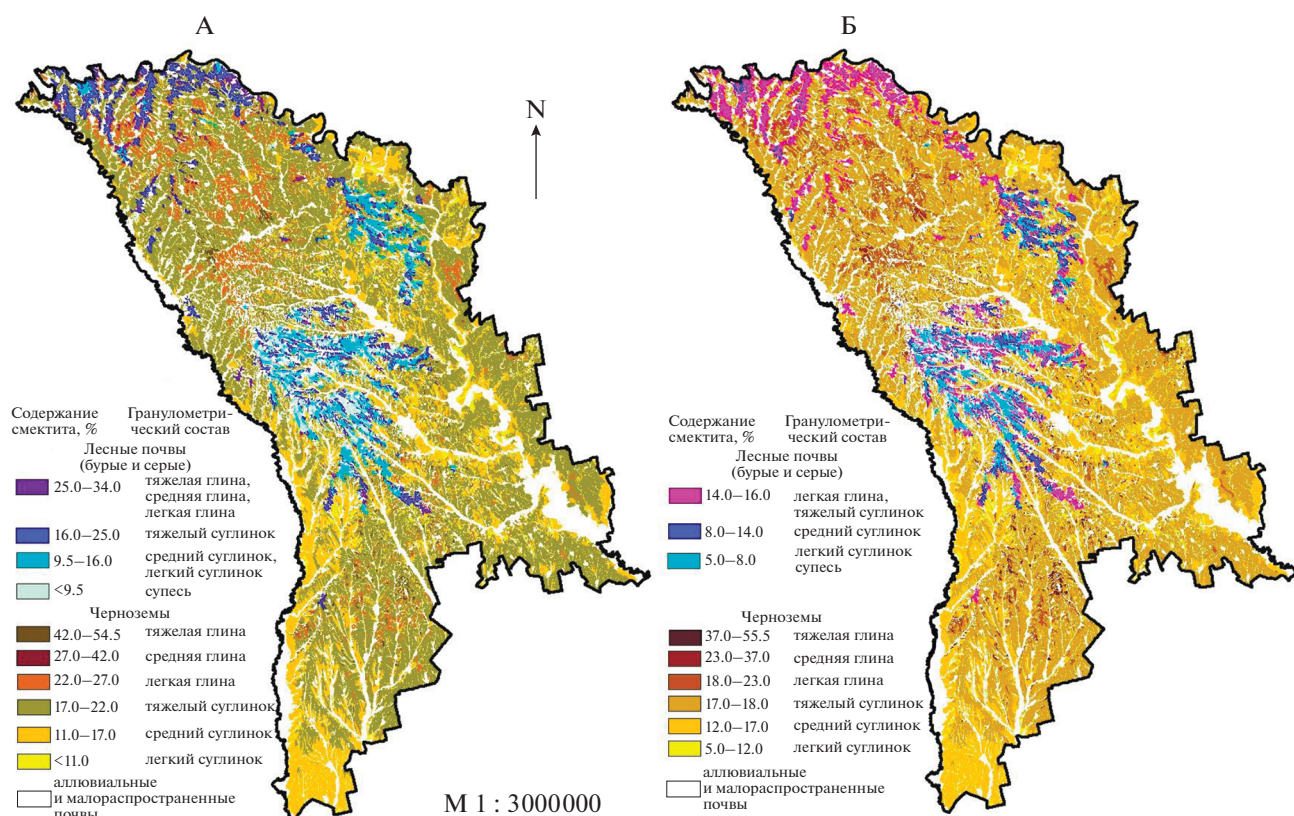


Рис. 1. Карта содержания смектита в почвообразующих породах (А) и в гор. А (Б) лесных почв и черноземов Молдавии.

На минералогической карте гор. А они включены в общую площадь с полнопрофильными черноземами. Не получили отображения на картах средне- и сильносмытые почвы. Показатели по содержанию в них смектита и иллита промежуточные между данными для гор. А и породы соответствующего гранулометрического состава, в сильносмытых — ближе к породе. При данном масштабе карт практически полностью исчезают контуры малораспространенных почв таких, как солонцы, солончаки, дерново-карбонатные и др. В настоящее время мы располагаем возможностью представить карты лесных почв и черноземов Молдавии по каждому из главных первичных и глинистых минералов и по всем основным генетическим горизонтам и почвообразующим породам.

Базовой информацией при создании карт содержания минералов смектита и иллита в почвенном гор. А и почвообразующих породах послужили материалы цифровой почвенной карты масштаба 1 : 10000 (более 70 тыс. почвенных контуров), составленной в 2011 г. Институтом почвоведения, агрохимии и защиты почв им. Н.А. Димо, и данные многолетних исследований содержания минералов в почвах. Работа была выполнена с использованием программы MapInfo в национальной системе координат MoldRef-99, приня-

той в Молдавии. Сначала из цифровой почвенной карты были выбраны лесные почвы (5157 контуров) общей площадью 301814 га и черноземы (39082 контуров) общей площадью 2103591 га. В зависимости от гранулометрического состава почв была введена атрибутивная информация для почвенных контуров по содержанию названных минералов. Проведенный анализ показал, что на минералогических картах площади черноземов и лесных почв составили 87–88 и 12–13% соответственно от суммарной площади почв (табл. 1, 2).

В основу минералогических карт положена статистика, с которой можно ознакомиться в таблицах. В них указаны средние значения содержания смектита и иллита в гор. А лесных почв и черноземов и их почвообразующих породах. За n принято число изученных почвенных образцов. Видно, что объем выборок по гранулометрическим разновидностям почв и пород сильно варьирует: от единичных до нескольких десятков определений. Наиболее обеспечены данными тяжелые суглинки, хуже — более тяжелые и более легкие разновидности почв и пород. Содержание в почвах смектита изменяется в пределах 6–43% (табл. 1), иллита — в пределах 3–16% (табл. 2). Причина явления очевидна: содержание обоих минералов увеличивается с уменьшением разме-

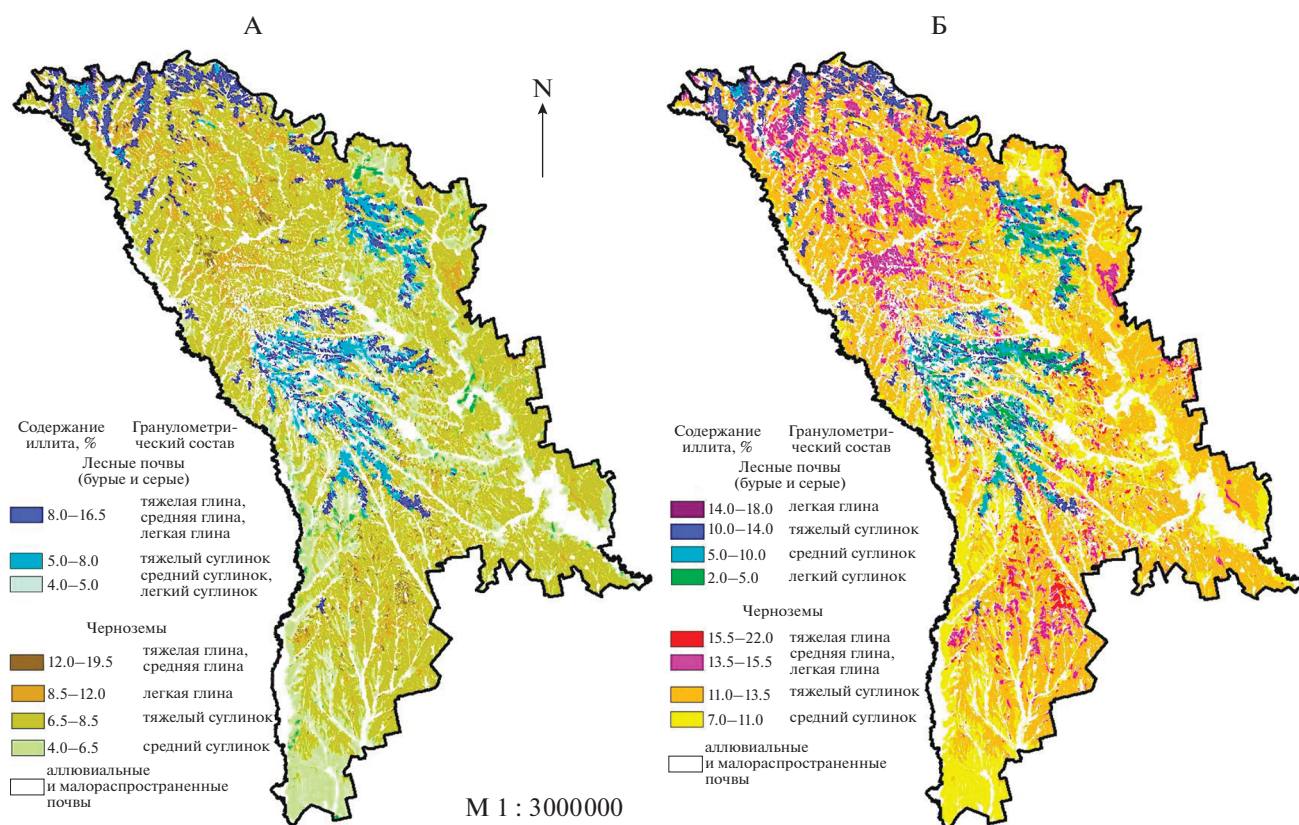


Рис. 2. Карта содержания иллита в почвообразующих породах (А) и в гор. А (Б) лесных почв и черноземов Молдавии.

ра минеральных частиц и увеличением содержания частиц малого размера, что особенно свойственно смектиту.

Сравнительный анализ достоверности изменений содержания смектита и иллита в черноземах и лесных почвах корректно можно провести по тяжелым суглинкам, поскольку по ним получены самые большие по объему выборки данных. Полученные результаты свидетельствуют о том, что почвообразующие породы указанного гранулометрического состава черноземов и лесных почв по содержанию смектита статистически не различаются (19.6 и 19.9% соответственно). Статистически достоверных различий в содержании иллита в почвообразующих породах тяжелосуглинистого гранулометрического составов лесных почв (6.4%, доверительный интервал 4.8–8.0%) и черноземов (7.6%, доверительный интервал 7.2–8.0%) также не установлено.

Статистически достоверно черноземы и лесные почвы различаются по содержанию смектита в гор. А их среднесуглинистых разновидностей (средние значения 12.6 и 10.2, доверительные интервалы средних с вероятностью 0.95 составили 11.8–13.4 и 9.1–11.3% соответственно). По этому показателю достоверно различаются тяжелосуглинистые черноземы с объединенной группой

тяжелосуглинистых и легкоглинистых лесных почв, несмотря на то, что легкая глина увеличила содержание смектита (средние значения 17.1 и 14.7, доверительные интервалы средних 16.6–17.6 и 13.7–15.7% соответственно). Эти данные указывают, что смектит в лесных почвах сравниваемых гранулометрических градаций менее устойчив, чем в черноземах, по крайней мере, в их гор. А. Статистически достоверных различий в содержании иллита в гор. А тех же гранулометрических подразделений лесных почв и черноземов не установлено. Среднее содержание иллита в гор. А тяжелосуглинистых лесных почв составило 12.2%, в тяжелосуглинистых черноземах – 12.5%, те же показатели в среднесуглинистых почвах – соответственно 7.2 и 8.5% при доверительных интервалах средних 6.3–8.1 и 7.0–9.0% соответственно.

Приведенные выше данные показали, что почвообразующие породы тяжелосуглинистого и среднесуглинистого гранулометрического состава лесных почв и черноземов по содержанию смектита и иллита не различаются. Эти почвы того же гранулометрического состава статистически достоверно различаются по содержанию смектита и не различаются по содержанию иллита в гор. А. Лесные почвы указанных грануломет-

Таблица 1. Статистическая характеристика и градации содержания смектита в почвообразующих породах и гор. А разного гранулометрического состава лесных почв и черноземов, %

Гранулометрический состав	<i>n</i>	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>V</i>	$D_{x, p=0.95}$	Гм	Площадь, га	% от площади почв
ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ								
Лесные почвы								
Глина тяжелая, средняя, легкая	5	31.5	2.6	8	29.2–33.8	25.0–34.0	24395	1
Суглинок тяжелый	13	19.6	4.8	25	17.0–22.2	16.0–25.0	145624	6
Суглинок средний, легкий	6	12.4	3.5	28	9.6–15.2	9.5–16.0	110460	5
Супесь	1	–	–	–	–	<9.5	21336	1
Всего							301814	13
Черноземы								
Глина тяжелая	5	44.7	10.8	24	35.2–54.2	42.0–54.5	16794	1
Глина средняя	3	36.3	8.0	22	27.2–45.4	27.0–42.0	15341	1
Глина легкая	20	25.5	2.4	9	24.4–26.6	22.0–27.0	199978	8
Суглинок тяжелый	48	19.9	3.2	16	19.0–20.8	17.0–22.0	1359098	56
Суглинок средний	9	12.5	2.4	19	10.9–14.1	11.0–17.0	455509	19
Суглинок легкий	1	–	–	–	–	<11.0	56871	2
Всего							2103591	87
ВСЕГО							2405405	100
ГОР. А								
Лесные почвы								
Глина легкая, суглинок тяжелый	44	14.7	3.3	22	13.7–15.7	14.0–16.0	168283	7
Суглинок средний	11	10.2	1.9	19	9.1–11.3	8.0–14.0	68018	3
Суглинок легкий, супесь	8	5.9	1.3	21	5.0–6.8	5.0–8.0	63779	3
Всего							300079	12
Черноземы								
Глина тяжелая	8	43.7	16.7	38	33.1–55.3	37.0–55.5	16794	1
Глина средняя	7	30.0	9.4	31	23.0–37.0	23.0–37.0	15341	1
Глина легкая	40	21.9	2.1	9	21.2–22.6	18.0–23.0	199978	8
Суглинок тяжелый	94	17.1	2.4	14	16.6–17.6	17.0–18.0	1359098	57
Суглинок средний	13	12.6	1.4	11	11.8–13.4	12.0–17.0	455509	19
Суглинок легкий	2	6.1	0.9	15	4.9–7.3	5.0–12.0	56871	2
Всего							2103591	88
ВСЕГО							2405405	100

Примечание. Здесь и в табл. 2: *n* – количество изученных образцов; *x* – среднее арифметическое содержание минерала; *s* – стандартное отклонение; *V* – коэффициент вариации; $D_{x, p=0.95}$ – доверительный интервал среднего арифметического при вероятности 0.95; Гм – градации выделов на картах содержания минерала в почве или породе.

рических градаций в гор. А статистически достоверно содержат смектита меньше, чем черноземы тех же градаций.

Результаты статистического анализа данных содержания смектита и иллита в гор. А лесных почв и черноземов по сравнению с почвообразующими породами свидетельствуют о том, что достоверно различаются по содержанию смектита лесные почвы тяжелосуглинистого состава

(гор. А – 14.7, порода – 19.6%, доверительные интервалы средних 13.7–15.7 и 17.0–22.2% соответственно). Гор. А тяжелосуглинистых лесных почв теряет смектит. В лесных почвах суглинистого состава достоверных различий по данному показателю не обнаружено. Черноземы тяжелосуглинистые по этому показателю достоверные различия имеют, черноземы суглинистые – не имеют. По содержанию иллита в гор. А и породе статистически достоверные различия показывают лесные

Таблица 2. Статистическая характеристика и градации содержания иллита почвообразующих породах и гор. А разного гранулометрического состава лесных почв и черноземов, %

Гранулометрический состав	<i>n</i>	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>V</i>	$D_x, p = 0.95$	Гм	Площадь, га	% от площади почв
ПОЧВООБРАЗУЮЩИЕ ПОРОДЫ								
Лесные почвы								
Глина тяжелая, средняя, легкая	5	10.9	5.9	54	5.7–16.1	8.0–16.5	24395	1
Суглинок тяжелый	13	6.4	2.9	45	4.8–8.0	5.5–8.0	145624	6
Суглинок средний, легкий	6	4.8	0.7	16	4.2–5.4	4.0–5.5	110460	5
Всего							280478	12
Черноземы								
Глина тяжелая, средняя	8	14.0	7.5	54	8.8–19.2	12.0–19.5	32134	1
Глина легкая	23	10.1	1.5	15	9.5–10.7	8.5–12.0	199978	9
Суглинок тяжелый	46	7.6	1.5	20	7.2–8.0	6.5–8.5	1359098	58
Суглинок средний	8	4.9	1.0	21	4.2–5.6	4.0–6.5	455509	20
Всего							2046720	88
ВСЕГО							2327198	100
ГОР. А								
Лесные почвы								
Глина легкая	3	16.5	1.2	7	15.1–17.9	14.0–18.0	22659	1
Суглинок тяжелый	42	12.2	2.5	20	11.4–13.0	10.0–14.0	145624	6
Суглинок средний	15	7.2	1.8	26	6.3–8.1	5.0–10.0	68018	3
Суглинок легкий	3	3.1	0.5	16	2.5–3.7	2.5–5.0	42442	2
Всего							278743	12
Черноземы								
Глина тяжелая	8	16.8	7.5	44	11.6–22.0	15.5–22.0	16794	1
Глина легкая, средняя	47	14.6	2.3	16	13.9–15.3	13.5–15.5	215319	9
Суглинок тяжелый	94	12.5	2.5	20	12.0–13.0	11.0–13.5	1359098	58
Суглинок средний	13	8.5	2.8	34	7.0–9.0	7.0–11.0	455509	20
Всего							2046720	88
ВСЕГО							2325463	100

почвы и черноземы обеих гранулометрических градаций. В обоих типах почв иллит накапливается в гор. А.

Таким образом, статистически достоверные различия в содержании смектита в гор. А и породе установлены в лесных почвах и черноземах тяжелоуглинистого состава и не достоверные – в лесных почвах и черноземах среднесуглинистого состава. Установлено, что гор. А первой категории почв теряет смектит. По содержанию иллита в гор. А и породе статистически достоверные различия характерны для обеих гранулометрических разновидностей лесных почв и черноземов. Установлено, что иллит накапливается в их гор. А. На причинах данного явления в настоящий момент не будем задерживаться.

По средним и доверительным интервалам с вероятностью 0.95 устанавливались градации содержания минералов в почвах и породах, получившие отражение на картах. Поскольку не все

деления гранулометрического состава в одинаковой степени обеспечены анализами, доверительные интервалы средних значений получили разный размах. Выявлены три случая контактов доверительных интервалов средних для соседних по гранулометрическому составу градаций пород. Первый – наложение, второй – разделение “в стык”, третий – разделение с разрывом между интервалами. При наложении для выборок примерно равного объема граница градации по содержанию минерала намечалась посередине области наложения. Для выборок с неравными объемами граница градации определялась доверительным интервалом среднего, полученным по большей выборке.

При разделении доверительных интервалов “в стык” за границы градаций принимались границы доверительных интервалов средних. При разделении доверительных интервалов средних с разрывом между ними граница градаций намечалась посередине разрыва. Во всех случаях значе-

ния границ градаций округлялись до 0.5%. В связи с описанным способом выделения границ градаций среднее содержание минерала в породе не всегда оказывалось средним из значений границ градаций. В случае малых выборок и большого разброса результатов соседние по гранулометрическому составу породы объединялись в одну группу и для нее заново рассчитывались статистические характеристики. При единичных анализах пород, относящихся к крупным градациям по гранулометрическому составу (легкий суглинок, супесь), содержание минерала в которых закономерно выходило за границы значений предшествующих градаций содержания минерала, выделялась градация со знаком “меньше” (<).

Как отмечалось, такие же карты могут быть составлены и по другим минералам. Возможны другие варианты карт: по содержанию минералов в каждом генетическом горизонте, в почвах в целом, по природным резервам калия, основанных на составе калийсодержащих минералов, по градиентам изменения содержания минералов по профилю и др. Хорошим примером практического применения карт минералогического состава почв является карта содержания смектита. Из нее следует, что группа смектита является доминирующей среди глинистых минералов почв республики. Согласно нормативам ФАО [26], для таких почв, во избежание быстрого осолонцевания, выдвигаются особые требования к качеству оросительных вод. Полный набор подобных карт дает возможность получить широкое представление не только о минералогии почв региона, но и ее изменении как под воздействием природных, так и антропогенных факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате многолетних минералогических исследований почв Молдавии накоплен большой аналитический материал, позволяющий перейти к следующему этапу, их минералогическому картографированию. Данное направление почвоведения нельзя считать новым, поскольку такие работы ведутся и в других странах, но с разной эффективностью. Целесообразность минералогического картографирования почв обусловлена различными важными специфическими свойствами почвенных минералов. Эти свойства наследуются почвами и дают возможность прогнозировать поведение последних в определенных, заранее известных обстоятельствах. Специфика проведенных работ в Молдавии заключается в том, что исследования выполнены в стране небольших размеров с относительно несложными природными условиями и за сравнительно короткий срок. Проведены они с помощью одного метода количественной рентгеновской дифрактометрии, по единой методике, в одной лаборатории и силами практически одного

коллектива. В результате получен исследовательский материал хорошего качества, позволяющий вести разнообразное минералогическое картографирование почв, включающее отдельные минералы, отдельные почвы и отдельные генетические горизонты. Создавшаяся ситуация открывает широкие возможности для раскрытия всего многообразия свойств почв с целью их всестороннего изучения и успешного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаменко О.М., Гольберт А.В., Осипук В.А., Матвишшина Ж.Н., Медяник С.И., Моток В.Е., Сиренко Н.А., Чернюк А.В. Четвертичная палеогеография экосистемы Нижнего и Среднего Днестра. Киев, 1996. 200 с.
2. Адаменко О.М., Гольберт А.В., Осипук В.А., Покатиллов В.П., Моток В.Е., Матвишшина Ж.Н. Четвертичная палеогеография экосистемы Нижнего и Среднего Прута. Киев, 1997. 233 с.
3. Алексеев В.Е. Минералогия почвообразования в степной и лесостепной зонах Молдовы: диагностика, параметры, факторы, процессы. Кишинев, 1999. 241 с.
4. Алексеев В.Е., Грати В.П., Моток В.Е., Синкевич З.А. Глинистые минералы в лесных почвах Молдавии // Генезис и рациональное использование почв Молдавии. Кишинев, 1977. С. 23–41.
5. Алексеев В.Е., Родина А.К. Опыт составления карт минералогического состава почв (на примере Молдавии) // Почвоведение. 1987. № 8. С. 112–119.
6. Алексеев В.Е. Способ количественного определения первичных минералов в почвах и породах методом рентгеновской дифрактометрии // Почвоведение. 1994. № 1. С. 104–109.
7. Алексеев В.Е., Арапу К.Г., Бургеля А.Н. Методика супердисперсного фракционирования почв и пород при их минералогическом анализе // Почвоведение. 1996. № 7. С. 873–878.
8. Алексеев В.Е., Бургеля А.Н., Варламов Е.Б. Происхождение и возраст минералогических профилей черноземов Молдавии // Почвоведение. 2008. № 4. С. 454–466.
9. Билинкис Г.М. Геодинамика крайнего юго-запада Восточно-Европейской платформы в эпоху морфогенеза. Кишинев: Штиинца, 1992. 180 с.
10. Градусов Б.П. Размещение глинистых минералов в почвообразующем материале и почвах // Кора выветривания. М.: Наука, 1976. № 15. С. 131–148.
11. Градусов Б.П. География и генезис каолиновых минералов в почвообразующем материале и почвах // Problems of Soil Science. М.: Nauka, 1981. P. 199–202.
12. Градусов Б.П., Чижикова Н.П. Структурно-генетические группы смектитового компонента почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 265–271.
13. Крупеников И.А., Подымов Б.П. Классификация и систематический список почв Молдавии. Кишинев, 1987. 157 с.

14. *Негадаев-Никонов К.Н., Яновский П.В.* Четвертичные отложения Молдавской ССР. Кишинев: Карта Молдовеныскэ, 1969. 90 с.
15. Почвы Молдавии. География почв, описание почвенных провинций, районов и микрорайонов. Кишинев: Штиинца, 1985. Т. 2. 239 с.
16. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
17. *Савин И.Ю.* Использование спутниковых данных для составления почвенных карт: современные тенденции и проблемы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 29–39.
18. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И.* Глинистые минералы в почвах. М., 2005. 336 с.
19. *Baldrige A.M., Hook S.J., Grove C.I., Rivera G.* The ASTER Spectral Library Version 2.0 // Remote Sensing of Environment. 2009. 113. P. 711–715.
20. *Biscaye P.E.* Mineralogy and sedimentation of the deep-sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean // Geol. Soc. Am. Bull. 1965. V. 76. № 7. P. 803–832.
21. *Kodama H., Ross G.J., Wang C., Macdonald K.B.* Clay mineralogical database of Canadian soils // Technical Bulletin 1993-1E. Research Branch. Centre for Land and Biological Resources Research. Ottawa, Ontario. 64 p.
22. *Loveland P.J.* The soil clays of Great Britain: I. England and Wales // Clay Miner. 1984. V. 19. № 5. P. 681–707.
23. *Mulder V.L., De Bruin S., Schaepman M.E., Mayr T.R.* The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review // Geoderma. 2011. V. 162. P. 1–19.
24. *Nagra G., Burkett D., Huang J., Ward C., Triantafylis J.* Field level digital mapping of soil mineralogy using proximal and remote-sensed data // Soil Use and Management. 2017. V. 33. Iss. 3. P. 425–436.
25. *Smith D.B., Cannon W.F., Woodruff L.G., Solano F., Ellefsen K.J.* Geochemical and mineralogical maps for soils of the conterminous United States // U.S. Geological Survey Open-File Report 2014–1082. 2014. 386 p.
26. Soil survey investigation for irrigation // FAO Soil Bulletin 42. FAO. Rome, 1979.
27. *Stefanovits P.* Map of clay mineral associations in Hungarian soils // Agrochem. es talaj. 1989. V. 38. № 3–4. P. 790–799.
28. *Viscarra Rossel R.A., Cattle S.R., Ortega A., Fouad Y.* In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy // Geoderma. 2009. V. 150 (3–4). P. 253–266.
29. *Viscarra Rossel R.A.* Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. Iss. F04023.
30. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 192 p.

Cartography of the Composition of Clay Minerals of Soils and Parent Materials in Moldova

V. E. Alekseev^{a,*} and Yu. G. Rozloga^a

^a*Nicolae Dimo Institute of Pedology, Agrochemistry, and Soil Protection, ul. Ialoveni 100, Chisinau, 2070 Moldova*

^{*}*e-mail: oks40@list.ru*

A brief analysis of the state of mineralogical cartography of soils in the world is given; in particular, in countries such as Great Britain (England and Wales), Canada, the United States, Australia, Hungary, the former Soviet Union, and Russia. The main object of mapping in these countries is the composition of clay minerals; except for the United States, minerals in coarse fractions are ignored. The aim of this paper is to share experience in mineralogical mapping of soils in Moldova, a small country with steppe and forest-steppe landscapes, to show the achievements, and to reveal the problems in this field. In contrast to other countries, where the associations of clay minerals were the main object of mapping, the applied research methods and the developed database on the mineralogical composition of soils and parent materials in Moldova made it possible to perform mapping for individual minerals in the clay fraction and in the coarse fractions. Digital maps of the contents of different minerals in the soils of Moldova were compiled on the basis of systematic studies with the use of the method of quantitative X-ray diffractometry and statistical analysis of the results. The dependence between the mineral content and particle-size distribution in soils made it possible to perform mineralogical mapping in accordance with this characteristic. As an example, digital maps of the content of clay minerals in soils of Moldov on a scale of 1 : 3 M are presented: the maps of the content of smectite and illite in the A horizon and in the parent materials of chernozems and forest soils. Statistical characteristics of the mineral content in these soils of different textures are given. The content of smectite in soils varies within the range of 6–43%; the content of illite, within 3–16%. Statistically significant differences in the content of smectite and illite between the A horizon and the parent material were found. The methodology of mapping of soil mineralogical composition is described, and the areas of their practical application are specified.

Keywords: clay minerals, quantitative X-ray diffractometry, illites, smectites, granulometric composition