

thods on the basis of preliminary developed physical-geological models of the storages. Such kind of models is used widely and has recommended itself in prospecting process and engineering-geological researches. The purpose of the article is the generalization and typification of geometrical features of the models in order to implement them in detailed geoecological and geophysical research of territories adjacent to uranium ore processing waste storages. The information about geometric features of storage structures and enclosing rocks, and potential directions of radioactive contamination was generalized. The models of 4 types of existing uranium ore processing

waste storages were designed: "Above Surface", "Sub-surface", "Slope" and "Gully". The models make the basis for organisation of optimum network of geological-geophysical researches (both mapping and monitoring) aimed on operative and effective solution of geoecological and radiologic safety problems appeared near uranium ore processing waste storages.

Keywords: *geophysics method, potential contamination, radioactive waste, storage, physical-geological model*

Рекомендовано до публікації докт. геол.-мін. наук К.Ф. Тяпкіним. Дата надходження рукопису 25.07.11

УДК 550.83-1029.12

**А.И. Меньшов, канд. геол. наук,
А.В. Сухорада, канд. геол.-мін. наук, доцент**

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев, Украина, e-mail: pova@list.ru

МАГНЕТИЗМ ПОЧВ УКРАИНЫ

**A.I. Menshov, Cand. Sci. (Geol.),
A.V. Sukhorada, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.**

Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, e-mail: pova@list.ru

SOIL MAGNETISM IN UKRAINE

Важной частью современных детальных магнитометрических исследований является изучение магнетизма почвенного покрова (педомагнетизма). Собственно почвы достаточно магнитны, а в ряде случаев выступают основными приповерхностными объектами, которые генерируют локальные магнитные аномалии. Такие случаи зафиксированы в пределах Днепровско-Донецкой впадины Украины. Цель работы – исследование вертикальных и латеральных распределений магнитных характеристик почв. Кроме того, анализируются возможные направления использования информации о магнетизме почвенного покрова. Методика данных работ включает принципы высокоточной магнитометрии, микромагнитных съемок, рок-магнитных и палеомагнитных исследований, методов почвоведения. Основными магнитными параметрами, которые используются нами, являются магнитная восприимчивость χ , суммарная намагниченность J_{Σ} , эффективная намагниченность J_{ef} , полный вектор магнитного поля T , его градиенты и др. Почвенный покров изучался в пределах основных почвенно-климатических зон Украины: Полесье, Лесостепь, Степь, Сухая Степь. Исследовались следующие типы почв: дерново-подзолистые, серые лесные, каштановые, черноземы выщелоченные, типичные, обычные, южные, а также луговые, дерновые, болотные почвы. При переходе между почвенно-климатическими зонами Украины магнетизм почв растет с Севера на Юг. Наиболее магнитными являются черноземы обычные и южные. Наименее магнитны дерново-подзолистые, луговые и болотные почвы. В ландшафте максимумы магнитных параметров фиксируются на водоразделах, плато, минимумы – в поймах, балках, борových террасах. Кроме того, изучались загрязненные типы почв – урбаноземы. Информативность педомагнетизма используется при решении экологических заданий за счет роста магнитных показателей при заражении почв тяжелыми металлами и другими опасными для здоровья человека химическими соединениями. Существуют возможности использования магнетизма почв при поисках углеводородов за счет формирования вторичных магнитных минералов в приповерхностных слоях под воздействием флюидов нефти и газа. По показателям магнитной восприимчивости проводится картирование сельскохозяйственных земель, изучение эрозии, плодородия, необходимости внесения минеральных и органических удобрений.

Ключевые слова: *почва, геофизика, магнитометрия, магнетизм, намагниченность, магнитная восприимчивость, экология*

Постановка проблемы. Почвенный покров – это первый от поверхности геологический горизонт, с которым человек контактирует непосредственно в процессе своей жизнедеятельности. В структуре почвы проявляется как глубинное строение земных недр, так и антропогенная и техногенная нагрузка на соответствующие территории. Необходимой составляющей современного изучения почвенного покрова для решения целого ряда фундаментальных и приклад-

ных задач является использование геофизических методов. Нами предложено говорить в данном контексте о геофизике педосферы [1]. Педосфера (от греч. pedon – почва, и sphaîra – шар) – внешняя оболочка Земли, состоящая из почвы и включающая процессы почвообразования. Она существует на границе литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы. Педосфера образовалась в результате многовекового воздействия атмосферной влаги, солнечного тепла, растительного и животного мира на поверхностные слои горных пород земной суши. В педосфере насчитывают сотни основных типов и многие тысячи

видов и разновидностей почв, различающихся по строению, физическим и химическим свойствам, гидротермическому режиму, составу и жизнедеятельности почвенной биоты (обитающим в почве живым существам, включая микроорганизмы). Несмотря на малую мощность – всего от нескольких сантиметров до полутора-двух метров, педосфера выполняет множество планетарных функций, имеющих важнейшее экологическое значение для жизни на Земле, прежде всего для живого мира земной суши, включая и человека с его хозяйственной деятельностью. Очень важной и наиболее широко известной функцией почв является их биологическая продуктивность (на сельскохозяйственных землях – плодородие), т.е. способность обеспечивать растения элементами питания, влагой, воздухом и теплом, и тем самым воспроизводить жизнь растений, давать урожай. Использование почвенного плодородия дает человеку более 98% всех продуктов питания и большое количество разнообразного сырья для промышленного производства. Поэтому на протяжении всей истории человечества борьба за плодородие почвы всегда была на одном из первых мест. Организация по вопросам продовольствия и сельского хозяйства ФАО (ФАО) признала почвенный покров основным ресурсом для сельского хозяйства и производства продовольствия, а также частью окружающей среды, нуждающуюся в охране. ФАО была в центре подготовки Мировой Почвенной карты и, вместе с Международным Союзом Наук о почве (International Union of Soil Sciences) и Международным Информационным Центром по исследованию почв (ISRIC), является организатором программы создания глобальной Базы данных Почвенных и Земельных ресурсов (SOTER – Soil and TERrain database)[2].

Среди геофизических методов исследования почв наибольшее применение и изученность сегодня демонстрируют магнитные и магнитометрические методы. В этой связи речь идет о магнетизме почв (педомагнетизме) [3]. Магнитные методы являются наиболее экспрессными, дешевыми и информативными при изучении педосферы с целью решения задач почвенного картирования, археологии, аграрного сектора, природоохранной отрасли, прогнозе территорий на полезные ископаемые, в том числе углеводороды.

Началом изучения магнитных свойств почв в мире принято полагать работы французского исследователя Le Borgne в начале 60-х годов XX ст. С этого времени почвы постепенно перестали считаться слоем помех при магниторазведочных работах, а в ряде случаев (например, Днепровско-Донецкая впадина Украины – ДДВ) доказано, что они выступают основным приповерхностным магнитоактивным горизонтом, который может генерировать существенные для ультрадетальной магнитометрии аномалии в первые десятки нТл. В Украине рождение педомагнитных исследований связано с именем А.В. Сухорады в 90-х годах прошлого столетия. Им создан коллектив исследователей, который работает в отрасли магнетизма природных объектов под его руководством и сегодня.

Изученность. Как отмечалось выше, изучение магнитных свойств почв началось в середине прошлого столетия и прошло несколько фаз, которые характеризовались разной степенью научного интереса к данной проблеме. Общей чертой изучения магнетизма педосферы в историческом контексте является определенная дискретность и обособленность соответствующих исследований. Публикации наших предшественников следует разделить на несколько групп. Первая – это работы советских авторов, которые рассматривают магнитную восприимчивость разных типов почв и ее распределение в почвенных генетических горизонтах, а также связь с увлажненностью, плодородием и гумусностью. Вторая – зарубежные работы 50–90 гг. прошлого столетия, где, одновременно с обозначенными выше проблемами, более детально анализируется магнитная минералогия почв. Третья группа – это современные работы [4], в которых представлен сегодняшний взгляд на вертикальные и латеральные распределения педомагнитных характеристик, возможности использования магнитной восприимчивости для почвенного картирования и решения аграрных задач. В отдельную группу следует выделить работы, связанные с изучением природной остаточной намагниченности почв [5]. Сегодня популярными и информативными стали экомагнитные и урбомагнитные исследования [6], заслуживают внимания исследование почвенного магнетизма в контексте поисков углеводородов [7].

Ниже коротко обобщим данные о магнитных свойствах основных почв Украины, а также рассмотрим примеры информативности педомагнетизма при решении некоторых задач.

Объекты исследований. Почвенный покров Украины изучается в пределах ее основных почвенно-климатических зон: Полесье, Лесостепь, Степь, Сухая Степь. Горные почвы изучены на данном этапе менее детально в Горном Крыму и Карпатах. Основными типами почв Украины, которые характерны либо для конкретных почвенно-климатических зон (зональные почвы), либо для всех территорий (азональные почвы), являются: черноземы выщелоченные, типичные, обычные, южные, серые лесные почвы, дерново-подзолистые, каштановые, луговые, болотные, дерновые почвы. Отметим, что в данном контексте речь идет об эталонных неизменных типах почвы.

Городские же почвенные покровы, которые изучаются при урбогеофизических исследованиях, являются измененными, имеет свою таксономию и обобщаются под названием урбаноземы [8].

Методика работ. На данном этапе перед нами стоит задача построения эталонных моделей наиболее характерных почвенных покровов каждой из почвенно-климатических зон Украины. Для этого используется технология и методика почвенных, экологических, почвоведческих, магнитных и магнитометрических исследований с последующей комплексной обработкой и интерпретацией полученных материалов. При этом идет разработка методологии магнитометрического раздела геофизики педосферы в целом. Ос-

новой технологии педомагнитных исследований являются соответствующие теоретические основы рок-магнетизма, главным образом информация о слабомагнитных соединениях, которые присутствуют в почвах, а также методики микромагнитных съемок и принципы высокоточной магнитометрии. Наилучше изученным, экспрессным и массово измеряемым параметром в педомагнетизме стала магнитная восприимчивость χ . Интегральной характеристикой магнетизма почв является суммарная намагниченность J_{Σ} . По этим величинам, в большинстве случаев, незагрязненные почвы Украины характеризуются в данной работе. Для изучения возможного вклада почвенного покрова в формирование локального аномального магнитного поля мы использовали полный вектор магнитного поля T , его вертикальный градиент $grad T$, а также эффективную намагниченность J_{ef} .

Полевой этап педомагнитных работ включает геолого-почвоведческие рекогносцировочные работы, измерение объемной магнитной восприимчивости с помощью полевых капаметров (типа КТ-5, ПИМВ-2), отбор ориентированных и неориентированных образцов почв, исследование локального аномального магнитного поля оригинальной магнитометрической аппаратурой (разработки Студенческого Конструктор-

ско-Исследовательского Бюро Киевского Национального университета имени Тараса Шевченко на базе квантовых магнитометров М-33, КМ-8, ПКМ-1). Лабораторные педомагнитные исследования состоят из измерения удельной магнитной восприимчивости с помощью лабораторного капаметра KLY-2 и двухчастотного измерителя магнитной восприимчивости MS-2, измерения намагниченностей почв с помощью аstaticкого магнитометра LAM-24 и рок-генератора JR-4, автоматизированной обработки результатов с помощью специального программного обеспечения. Кроме того, выполняются геохимические исследования: определение элементного состава, гумусности, рН, а также анализ и интерпретация полученной педомагнитной информации.

Результаты и их обсуждение. Для создания магнитных моделей почв Украины первой задачей является изучение распределения магнитных параметров по вертикали и латерали наиболее типичных почвенных покровов.

На рис. 1 представлены характерные распределения суммарной намагниченности и магнитной восприимчивости по генетическим горизонтам для типоморфных почв основных почвенно-климатических зон Украины.

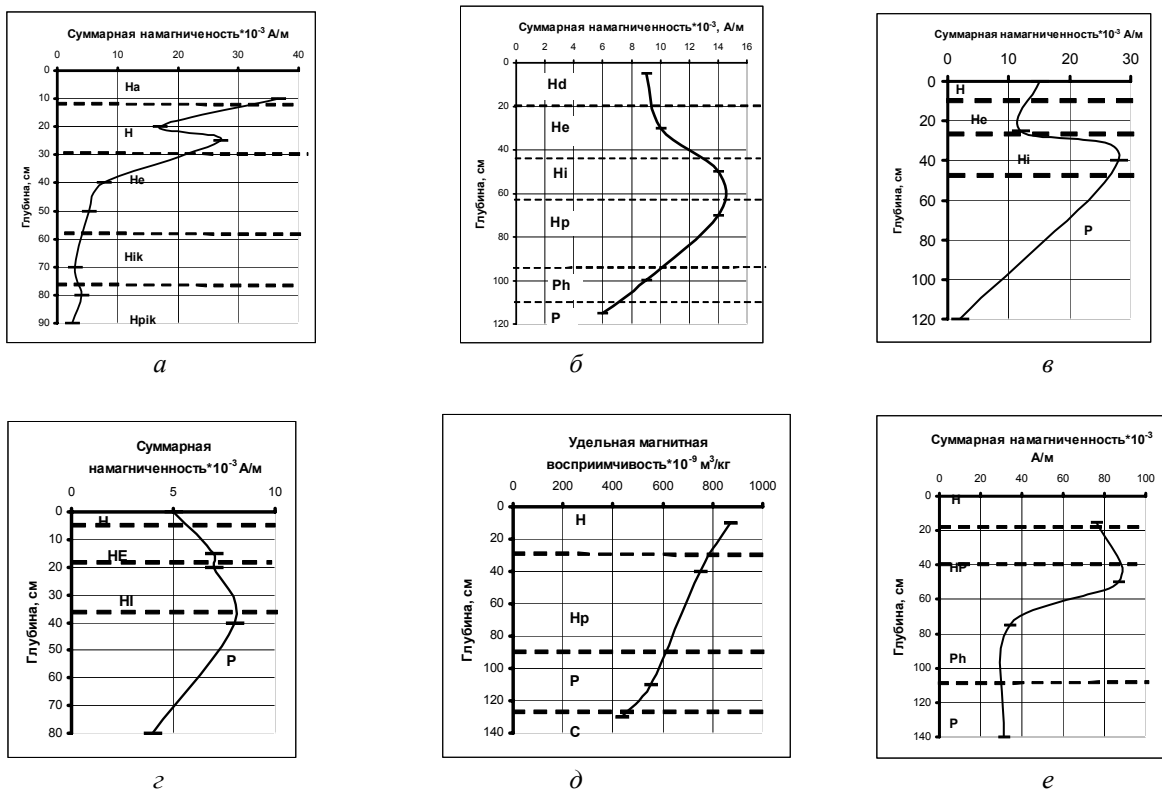


Рис. 1. Распределение педомагнитных характеристик с глубиной: а – дерново-подзолистые почвы Полесья; б – серые лесные почвы Лесостепи; в – чернозем выщелоченный Полесья; г – чернозем обычный Степи; д – чернозем южный Сухой Степи; е – каштановые почвы Сухой Степи

Для зональных типов почвенного покрова характерна зависимость суммарной намагниченности и магнитной восприимчивости от почвенно-климатической зоны. Для черноземов отмечено повышение магнитности в такой последовательности: чернозем выщелочен-

ный Полесья ($J_{\Sigma}=5...25 \cdot 10^{-3}$ А/м), чернозем типичный Лесостепи ($J_{\Sigma}=30...50 \cdot 10^{-3}$ А/м), чернозем обычный Степи ($J_{\Sigma}=60...85 \cdot 10^{-3}$ А/м), чернозем южный Сухой Степи ($J_{\Sigma}=100...125 \cdot 10^{-3}$ А/м).

Приведенные выше закономерности определяют состав гумуса, который формируется за счет разных типов растительности и водных режимов в соответствующих почвенно-климатических зонах Украины. Это приводит к различию условий почвообразования, ландшафтных ситуаций, строения почвенных профилей, элементарных почвенных таксонов и, наконец, разной концентрации ферромагнетиков в почвах.

Серые лесные почвы принадлежат к Лесостепи Украины и характеризуются пестрой картиной распределения магнитных величин. Суммарная намагниченность изменяется от $8 \dots 20 \cdot 10^{-3}$ А/м на Востоке зоны до $30 \dots 60 \cdot 10^{-3}$ А/м на ее Западе. Даже в условиях одного участка фиксируется широкая дифференциация в зависимости от ландшафтных характеристик. Часто суммарная намагниченность почв лесных территорий ниже, чем на сельскохозяйственных необрабатываемых полях.

Дерново-подзолистые почвы являются условно зональными для Полесья, но встречаются и в других зонах, где характеризуются как откровенно азональные. Эти почвы содержат мало ферромагнитного материала, а следовательно их вклад в формирование локального аномального магнитного поля невелик. В тоже время для этих почв нами зафиксировано немотонное падение магнитной кривой с глубиной и ее дополнительные пики в иллювиальных горизонтах. Фактор Q часто высокий за счет доминирования природной остаточной намагниченности.

Каштановые почвы сформированы на первичных ареалах Сухой Степи, почти не вспаханы, их почвенный профиль маломощный, но возрастает в местах многолетней эксплуатации почвенного покрова. Пик магнетизма в почвах данной зоны относится к черноземам южным, а не к каштановым почвам, в которых отсутствует промывной режим. Данные почвы следу-

ет характеризовать как средне магнитные ($J_{\Sigma} = 8 \dots 10 \cdot 10^{-3}$ А/м).

Дерновые, луговые и болотные почвы – азональные для всех почвенно-климатических зон Украины, в целом являются наиболее немагнитными из исследованных нами.

При сравнении отдельных генетических горизонтов почв наибольший интерес представляют элювиальные (He) и иллювиальные (Hi) горизонты, которые иногда приводят к немотонным изменениям магнитных кривых в почвенных разрезах за счет появления на соответствующих глубинах максимумов магнитных параметров. Данные генетические горизонты встречаются в дерново-подзолистых почвах, черноземах выщелоченных и некоторых других типах почв. Приведенные закономерности можно объяснить составом фракций, которые образуют элювиальные и иллювиальные генетические горизонты. Из элювиальных горизонтов в процессе почвообразования происходит вымывание магнитных веществ в иллювиальные горизонты, в которых ферромагнетик и накапливается.

Необходимо учитывать и магнитность подстилающих почвообразующих пород, которые вызывают изменения характеристик в почвах. Часто (например, ДДВ, Кировоградский блок Украинского щита) они являются слабомагнитными ($J_{\Sigma} = 1 \dots 5 \cdot 10^{-3}$ А/м). Более магнитные образующие породы нами отмечены для некоторых почв Степи и Сухой Степи ($J_{\Sigma} = 10 \dots 20 \cdot 10^{-3}$ А/м). В ряде случаев, это коры выветривания. Отмеченное выше часто выступает определяющим фактором формирования эффективной намагниченности почв, в связи с тем, что почвенный профиль, по всей своей мощности, сильно магнитный и кривая суммарной намагниченности слабо дифференцированная. Характер изменений суммарной намагниченности почв в ландшафте приведен на рис. 2, а.

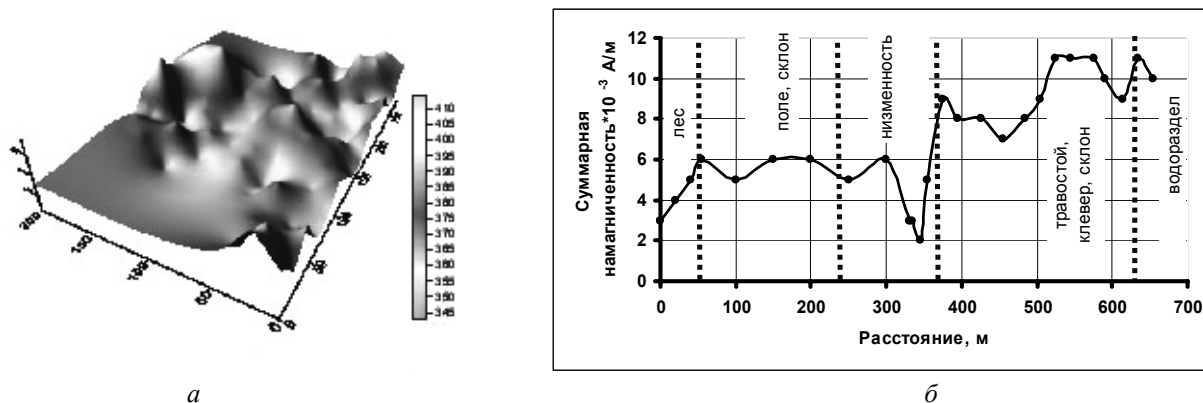


Рис. 2. Латеральные педомагнитные распределения: а – изменение J_{Σ} при пересечении основных форм рельефа участка „Горобиш“, Восточная Лесостепь; б – карта площадного распределения $\chi \cdot 10^{-9}$ м³/кг для серых лесных почв сельскохозяйственного участка „Кононы“, Восточная Лесостепь

В пониженных частях рельефа развиваются азональные гидроморфные почвы (луговые, болотные), а на водоразделах – зональные. Приведенные зависимости подтверждаются и результатами детальных площадных педомагнитных исследований (рис. 2, б).

При этом, кроме топографических и ландшафтных факторов, на дисперсию магнитных величин влияет и характер сельскохозяйственной обработки земель.

Информативность педомагнетизма прежде всего проявляется при ультрадетальных магнитометрических

исследованиях. Ультрадетаальная магнитометрия – это комплексные изучения геологической среды, которые включают магнитную съемку с неограниченной точностью совместно с изучением петро- и педомагнитных характеристик материалов, в частности, эффективной намагниченности природных объектов. При этом мы получаем информацию о существующем магнитном поле, которое с высокой степенью приближения отвечает идеальной теоретической модели, когда поле известно в каждой точке пространства с абсолютной точностью. Самыми высокими значениями эффективной намагниченности обладают серые лесные почвы и черноземы Степи и Сухой Степи ($J_{ef}=8...12 \cdot 10^{-3}$ А/м). Для остальных почв эффективная намагниченность ниже, а у дерново-подзолистых стремится к нулю и отрицательным значениям. Эти данные используются при решении прямых и обратных задач магнитометрии для почвенного покрова и указывают на то, в какой степени те или иные почвы могут повлиять на изменение локального аномального магнитного поля. Ряд экспериментов, проведенных нами для изучения взаимосвязи между педомагнетизмом и локальным аномальным магнитным полем, показали, что строение рельефа (а значит и типы почв) существенно влияет на поведение полного вектора магнитного поля и его вертикальных градиентов. Разница значений между магнитным полем, измеренным на водораздельных участках и в пойме при длине профиля около 1 км и перепаде высот до 10 м, может составлять 20–25 нТл для одного из характерных участков Лесостепи Украины. Результаты педомагнитного моделирования демонстрируют, что магнитный эффект от почвенного покрова достигает 2–6 нТл в зависимости от типа почвы.

Следует отметить, что изучение почв, прежде всего, нацелено на решение геологических поисковых задач и является неотъемлемой составляющей ультрадетаальных магнитометрических исследований.

Актуальным направлением изучения информативности магнетизма почв является природоохранная отрасль. В этой связи выделяется целый ряд природоохранных и восстановительных задач, решение которых успешно реализуется посредством магнитных методов. Одной из таких задач является картирование загрязненных вторичными нефтепродуктами важных для народного хозяйства территорий. Отмеченная ситуация широко распространена в местах дислокации нефтегазоперерабатывающих заводов, мест добычи углеводородного сырья и т.д. Нами изучалась проблема загрязнения современного почвенного покрова, подстилающих пород и палеопедосферы на территориях базирования бывших военных объектов, в первую очередь аэродромов. Среди изученных объектов следует отметить бывшую советскую военную базу в городе Прилуки. Для интерпретации полученных в результате изучения данного объекта материалов нами привлекалась информация по магнитному исследованию подобного бывшего советского военного аэродрома в городе Градканы, Чехия [9]. Было выявлено,

что углеводороды, проникая в структуру почвенного покрова и нижезалегающие слои, ведут к изменению их магнитных свойств. Формируется, так называемый, фронт гумификации за счет флуктуации уровня грунтовых вод. Происходит изменение магнитной минералогии почв в загрязненных зонах. По результатам лабораторных магнитных изучений образцов почв отмечено присутствие аутогенного вторичного магнетита, который формируется в процессе взаимодействия присутствующих в структуре почвенного покрова микроорганизмов, грунтовых вод и углеводородного вещества. Кроме того, технология восстановления загрязненных нефтепродуктами территорий включает и искусственное привнесение в почвы биоактивных микроорганизмов с очистительными целями. Эти компоненты также индуцируют процесс формирования вторичных магнитных минералов. На основании отмеченных выше фактов появляется обоснованная возможность использования магнитных и магнитометрических методов для контроля и картирования территорий, загрязненных углеводородами вследствие народно-хозяйственной деятельности.

Продолжая речь об использовании педомагнитной информации в природоохранной сфере, следует отметить, что по магнитной восприимчивости, в самые короткие сроки и с большой эффективностью, можно производить картирование мегаполисов и других урбанизированных территорий. В процессе функционирования крупных металлургических комбинатов, теплоэлектростанций, заводов химической и другой отраслей промышленности, а также автомобильного трафика, происходит выброс в воздух целого ряда летучих химически опасных веществ. В первую очередь речь идет о тяжелых металлах, которые при высокотемпературных процессах попадают в структуру магнитных веществ и накапливаются в почвенном покрове. В то время как удельная магнитная восприимчивость наиболее магнитных почв, изученных нами на территории Украины, редко превышает $1000 \cdot 10^{-9}$ м³/кг, загрязненные почвы урбанизированных территорий показывают превышение данных значений в десятки и сотни раз. Для примера рассмотрим таблицу. В ней приводятся обобщенные данные по результатам экопедомагнитных рекогносцировочных работ во Львове. Как видно из таблицы, магнитная восприимчивость почв, которые распространены в парковых участках города, характеризуется значениями, близкими к эталонному магнетизму соответствующих незагрязненных типов почв. В тоже время магнитная восприимчивость урбаноземов центральной части города демонстрирует повышение значений в десять раз. Это можно объяснить, в первую очередь, интенсивным движением автотранспорта на данном участке города, а также некоторыми объектами промышленности. В целом Львов, по сравнению с другими крупными городами Украины, демонстрирует довольно чистую экологическую обстановку согласно картированию почвенного покрова по магнитной восприимчивости.

Удельная магнитная восприимчивость почвенного покрова характерных антропогенных участков Львова

Участок исследований	Географическая и ландшафтная привязка	Средние значения удельной магнитной восприимчивости, $\chi \cdot 10^{-9}$, м ³ /кг
Высокий Замок 1	Парк „Высокий Замок“, плато	242
Высокий Замок 2	Парк „Высокий Замок“, склон	187
Лычаковское кладбище	Лычаковское кладбище, присутствуют следы антропогенной нагрузки	134
Центр города 1	ул. Черновола, отель „Львов“	2027
Центр города 2	ул. Черновола, парковая зона	1984
Центр города 3	ул. Сенская, двор	507
Центр города 4	ул. Идотного, двор	671

Продолжая обсуждение вопроса информативности педомагнетизма как составляющей ультрадетальной магнитометрии, следует рассмотреть потенциал данного метода при поисках нефти и газа. В данной связи речь идет о двух классах задач. Первая задача связана с разбраковкой аномального магнитного эффекта, который генерируется, собственно, вероятными отложениями нефти и газа от ландшафтных аномалий, которые вызываются строением верхней части геологического разреза и почвами. Аномальный магнитный эффект от почвенного покрова может составлять несколько нТл, что сопоставимо с углеводородными залежами и их структурами. При этом, в ряде случаев, известных прежде всего на территории ДДВ Украины, почвенный покров может выступать основным поверхностным магнитовозмущающим горизонтом.

Вторая задача исследования магнетизма почвенного покрова при поисках нефти и газа связана непосредственно с возможностью прямых поисков углеводородного сырья. Отмечено, что на территориях распространения углеводородов изменяются магнитные свойства почв за счет миграции углеводородов, которая ведет к формированию вторичных магнитных минералов, в том числе и в почвенном покрове. Рассмотрим пример соответствующих исследований на территории Венесуэлы [10]. Исследовано магнитную восприимчивость, проведен термомагнитный анализ, рассчитано отношение $S=IRM_{0,3T}/IRM_{+2T}$ (отношение изотермических остаточных намагниченностей при разных значениях напряженности внешнего магнитного поля) для коллекции почв с перспективной на нефть и газ площади (южная часть Венесуэлы, Venezuelan Andean Range). Также рассчитана концентрация свободных радикалов органического происхождения с помощью электронного парамагнитного резонанса. Основной магнитной фазой для большинства почвенных образцов определен магнетит. Магнитные данные сопоставлены с картой распределения этана на участке работ.

На рис. 3 представлен сравнительный график изменения концентрации этана, магнитной восприимчивости образцов почв и концентрации свободных радикалов органического происхождения вдоль профиля, который проложен с севера на юг. Часть графика, где зафиксировано повышение значений всех параметров (территория Cretaceous Kitchen), отвечает зоне с неглубоко залегающими продуктивными горизонтами, которые вскрыты

скважинами. При этом термохимические кондиции благоприятны для образования аутогенного магнетита.

Таким образом, участки с повышенными значениями магнитной восприимчивости и близкими к 1 значениями параметра S часто отвечают повышенному содержанию органических веществ в почвенных образцах. Соответственно, фиксируется присутствие магнитного минерала с высокой магнитной восприимчивостью и низкой коэрцитивностью. Скорее всего, это вторичный магнетит, что может свидетельствовать о вертикальной миграции углеводородов. Такой подход следует положить в основу теории применения магнитных методов для поиска нефти и газа.

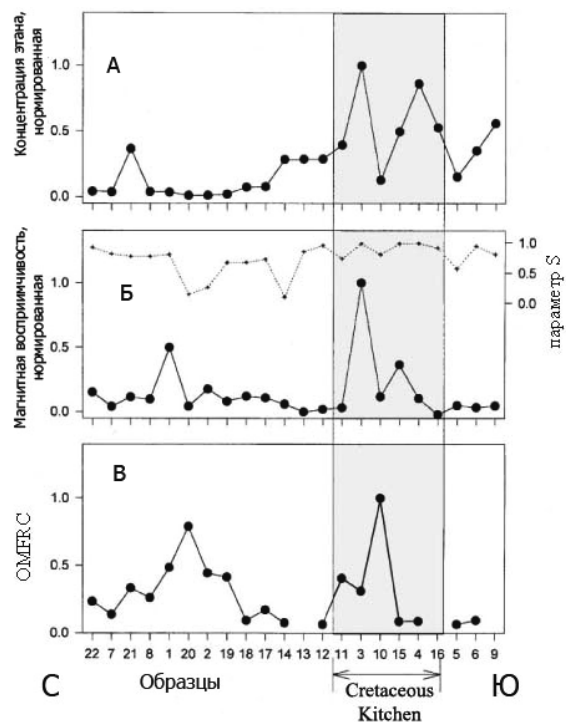


Рис. 3. Нормированные графики вдоль профиля С-Ю: А – концентрация этана; Б – магнитная восприимчивость, параметр S; В – концентрация свободных радикалов органического происхождения (OMFRC). Затемненная часть – точки с наибольшей концентрацией этана (территория Cretaceous Kitchen)

Также информативность изучения магнетизма почвенного покрова рассматривается для решения и других задач. В первую очередь, это сельское хозяйство и определение плодородия, агрохимических показателей почв. Также, по магнитным свойствам происходит картирование почвенных покровов почводами как по латерали, так и по горизонтали.

Важной педомагнитная информация является при археологических исследованиях и решении целого ряда других картировочно-прогнозных геологических задач.

Таким образом, на примере Украины показано, что почвенный покров является существенно магнитным, его магнитные параметры дифференцируются как при переходе между почвенно-климатическими зонами Украины, в пределах изменения ландшафтных ситуаций по катенам, так и по вертикали в почвенных горизонтах, подстилающих почвенных материнских породах, палеопедосфере. Магнетизм почв необходимо учитывать при ультрадетальных магнитных исследованиях, а полученная информация используется при решении целого ряда фундаментальных и прикладных задач.

Список литературы / References

1. Сухорада А.В. Геофизика педосферы – проблемы и методология их решения / А.В. Сухорада, М.А. Сухорада // Тез. Доп. IV міжнар. конф. „Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища“. – К.: 2003. – С.128–129.
2. Sukhorada, A.V. and Sukhorada, M.A. (2003), “Geophysics of soils: problems and solutions”, *4th Int. Conf. Proc. “Monitoring of dangerous geological processes and ecological state of environment”*, Kyiv, pp. 128–129.
3. Nachtergaele, F.O. (1995), “From the FAO-Unesco Soil Map of the World to the digital global soil and terrain database”, *Proc. ESB Meeting*, Athens, AGL Working paper, FAO, Rome.
4. Меньшов О.И. Застосування магнетизму ґрунтового покриву для розв’язання геолого-геофізичних задач / Меньшов О.И. // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка, Геологія. – К.: 2007. – № 40. – С. 45–48.
5. Menshov, O.I. (2007), “Use of soil magnetism for geological and geophysical tasks solution”, *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho Universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Geologia*, no.40, pp. 45–48.
6. Коснырева М.В. Разработка комплекса геофизических методов для решения прикладных задач почвенного картирования: автореф на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук: спец. 25.00.10 „Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых“ / Коснырева М.В. – М.: 2007. – 21 с.
7. Kosnyreva, M.V. (2007) “Design of complex of geophysical methods for solution of applied problems of soil mapping”, *Abstract of Cand. Sci. (Geol.-Min.) dissertation*, Dept. Geophysics, Geophysical Methods of Minerals Prospecting, Moscow, 2007, 21 p.
8. Бондарь К.М. Естественная остаточная намагниченность почвенного покрова / К.М. Бондарь, А.В. Сухорада // Науковий вісник НГАУ. – 2003. – №8. – С. 77–80.
9. Bondar, K.M. and Sukhorada, A.V. (2003), “Natural residual magnetization of soil”, *Naukovyi Visnyk NGAU*, no.8, pp. 77–80.
10. Maher, B.A., Moore, C. and Matzka, J. (2008), “Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves”, *Atmospheric Environment*, vol. 42, issue 2, pp. 364–373.
11. Liu, T. and Cheng, T. (1998), “Comprehensive evaluation of mechanism of ‘chimney-effect’ using principles of magnetism, geochemistry and mineralogy”, *Chinese Science Bull.*, no. 43, 9, pp. 743–748.
12. Почва, город, экология / [под общей ред. акад. РАН Г. В. Добровольского]. – М.: Фонд „За экономическую грамотность“, 1997. – 320 с.
13. Dobrovolskiy, G.V. (1997), *Pochva, gorod, ekologiya* [Soil, City, Ecology], Fund “Za ekonomicheskuyu gramotnost”, Moscow, Russia
14. Rijal, M.L., Appel, E., Petrovsky, E. and Blaha, U. (2010), “Change of magnetic properties due to fluctuation of hydrocarbon contaminated groundwater in unconsolidated sediments”, *Environmental Pollution*, no.158(5), pp. 1756–1762.
15. Gonzalez, F., Aldana, M., Constanzo-Alvarez, V., Diaz, M. and Romero I. (2002), “An integrated rock magnetic and EPR study in soil samples from a hydrocarbon prospective area”, *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 27, pp. 1311–1317.

Важливою частиною сучасних детальних магнітометричних досліджень є вивчення магнетизму ґрунтового покриву (педомагнетизму). Власне ґрунти є достатньо магнітними, а у ряді випадків основними приповерхневими об’єктами, які генерують локальні магнітні аномалії. Такі випадки зафіксовано в межах Дніпровсько-Донецької западини України. Метою роботи є дослідження вертикальних та латеральних розподілів магнітних характеристик ґрунтів. Крім того, аналізуються можливі напрямки використання інформації про магнетизм ґрунтового покриву. Методика даних досліджень включає принципи високоточної магнітометрії, мікромагнітних зйомок, рок-магнітних та палеомагнітних досліджень, методів ґрунтознавства. Основними магнітними параметрами, що використовувалися нами, є магнітна сприйнятливість χ , сумарна намагніченість J_{Σ} , ефективна намагніченість J_{ef} , повний вектор магнітного поля T , його градієнти та інші величини. Ґрунтовий покрив досліджувався в межах основних ґрунтово-кліматичних зон України: Полісся, Лісостеп, Степ, Сухий Степ. Вивчалися такі типи ґрунтів: дерново-підзолисті, сірі лісові, каштанові ґрунти, чорноземи вилугувані, типові, звичайні, південні, а також лучні, дернові, болотні ґрунти. При переході між ґрунтово-кліматичними зонами України магнетизм ґрунтів зростає з Півночі на Південь. Найбільш магнітними є чорноземи звичайні та південні. Найменш магнітні дерново-підзолисті, лучні та болотні ґрунти. У ландшафті максимуми магнітних параметрів фіксуються на вододілах, плато, мінімуми – у заплавах, балках, борових терасах. Крім того, вивчаються забруднені

типи ґрунтів – урбаноземи. Інформативність педоманетизму використовується при вирішенні екологічних завдань на основі зростання магнітних показників при зараженні ґрунту важкими металами та іншими небезпечними для здоров'я людини хімічними сполуками. Існують можливості використання манетизму ґрунтів при пошуках вуглеводнів за рахунок формування вторинних магнітних мінералів у приповерхневих шарах під впливом флюїдів нафти та газу. За показниками магнітної сприйнятливості проводиться картування сільськогосподарських земель, вивчення ерозії, родючості, необхідності внесення мінеральних та органічних добрив.

Ключові слова: ґрунти, геофізика, манітометрія, манетизм, намагніченість, магнітна сприйнятливість, екологія

Nowadays the investigation of soil magnetism (pedomagnetism) is important part of magnetometric studies. Soils are rather magnetic and sometimes they are the main object on the surface generating local magnetic anomalies. Such cases have been registered within the Dniepr-Donets Depression in Ukraine. Our work aimed the study of vertical and lateral distributions of magnetic characteristics of soils. In addition, the possible ways of application of the information about soil magnetism were analysed. The method of the research includes the principles of high-scale magnetometry, micromagnetic surveys, rock-magnetic and paleomagnetic studies, methods of soil science. The main magnetic parameters are: magnetic susceptibility χ , summary magnetization J_{Σ} , effec-

tive magnetization J_{ef} , vector of magnetic field T and its gradients, etc. Soils were studied within the main soil-climatic zones of Ukraine: Polesie (woodlands), Forest-Steppe, Steppe, Dry Steppe. The investigated soil types are: sod-podzol soil, gray forest soil, chestnut soil, chernozem soil (leached, typical, ordinary, southern), meadow soil, sod soil and bog soil. The soil magnetism increases from North to South across the soil-climatic zones of Ukraine. The most magnetic are ordinary and south chernozem soils. The least magnetic are sod-podzol, meadow and bog soils. The maximal values of the magnetic parameters are fixed in the watersheds and plateaus, minimal values are fixed in the floodplains, gullies, terraces. So cold 'urbanozem', te type of polluted soil, was investigated. Information about soil magnetism was used for solving environmental tasks. The magnetic parameters increase with soil pollution due to the content of heavy metals and other dangerous for human health matters. There is an opportunity of using soil magnetism in hydrocarbon prospecting due to the formation of auto-genic magnetic minerals in the subsurface under the influences of oil and gas. Magnetic susceptibility rate is useful for agricultural mapping of lands, investigation of erosion, soil fertility, necessity of mineral and organic fertilizers.

Keywords: soil, geophysics, magnetometry, magnetism, magnetization, magnetic susceptibility, ecology

Рекомендовано до публікації докт. геол. наук С.А. Вижвою. Дата надходження рукопису 06.06.11.