

Микроморфологическое диагностирование гумусообразования в почвах Грузии

Л.Г. Мачавариани

Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, Тбилиси, Грузия

Micromorphological diagnostics of humus formation in the soils of Georgia

L.G. Matchavariani

Iv. Djavakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

The micromorphology is the most informative sphere of pedology, especially in terms of diagnostics of elementary soil processes (EPP). On the basis of detailed micromorphological study of soils of Georgia, and revealing EPP at a micro-level, the signs of micromorphological diagnostics of the humus formation in Georgian soils have been identified. Forming of humus is the most common process found in all types of soil. The main micromorphological criteria to identify forms of humus are signs of transformation of the organic substance, such as the degree of decomposition of the vegetative residues, activeness of the soil fauna, the degree of homogeneousness of the fine dispersive part of the mineral and organic substance; the nature of the organic plasma, etc. Based on the detailed description of micromorphological parameters of all organic components according to their roughness or dispersiveness, the morphological types of humus in organic samples of the Georgian soils (such as raw; moder; mull; raw-moder or moder-raw; mull-moder or moder-mull) have been identified: Bog Soils and Salt Soils match with the 'raw group' of humus; Raw Humus Calcareous Soils (Rendzic Leptosols), Subtropical Podzols (Stagnic Acrisols), Yellow Soils (Chromic) and Alluvial Soils (Eutric Fluvisols, Calcaric Fluvisols) match with the 'moder group' of humus; Vertisols, Mountain Chernozems, Cinnamonic (Eutric Cambisols, Calcic Kastanozems), Meadow Cinnamonic (Calcaric Cambisols) match with the 'mull group' of humus; Mountain Meadow (Leptosols) and Subtropical Gley Podzols (Gleysols) match with the 'raw-moder' or 'moder-raw' groups of humus; Red Soils (Alisols), Grey Cinna-monic (Calcaric Kastanozems) Brown Forest, Meadow Cinnamonic Meadow Grey Cinnamonic (Calcic Vertisols) soils of Georgia match with the 'moder-mull' or 'mull-moder' groups of humus. A map, portraying the distribution of morphological types of humus in soils of Georgia, has been completed. The mapping has been based upon the overview of the micromorphological properties of humus formation obtained through diagnostics; and the contours have been drawn in accordance with the types of humus in the organic samples of the major soils in Georgia that have been studied.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных методических принципов генетического почвоведения является концепция почвообразовательного процесса, как сложного комплекса элементарных почвенных процессов, являющихся результатом взаимодействия трансформации и миграции органических и минеральных веществ. Почвообразовательные процессы обычно определяются как совокупность явлений превращений и перемещений веществ в пределах педосферы Земли.

Мачавариани Л.Г. Микроморфологическое диагностирование гумусообразования в почвах Грузии. // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий. Труды Международной электронной конференции. Тбилиси-Москва, 2006, с. 93-102. www.cetm.narod.ru/pdf/matchavariani.pdf

Процессы из которых складывается почвообразование в целом, А.А. Роде (1948) назвал *общими почвообразовательными процессами*, т.к. они имеют место во всех почвах в разном качественном и количественном проявлении, в разнообразных сочетаниях. Специфическое проявление общих процессов в зависимости от факторов и условий почвообразования названы *частными почвообразовательными процессами* (Роде, 1948). Все процессы им разделены на *макропроцессы*, охватывающие весь почвенный профиль в целом, и *микропроцессы*, минеральные и органические преобразования в пределах локальных участков профиля.

Частные почвообразовательные макропроцессы И.П. Герасимов (1973) предложил называть *элементарными почвенными процессами*. В ранних работах (Герасимов, Глазовская, 1960) эти процессы назывались *элементарными почвообразовательными процессами*. Выделенные И.П. Герасимовым и М.А. Глазовской (1960) десять видов процессов, объединены в три группы: I. элементарные процессы, в которых главную роль играет превращение минеральной части почвы: оглинение (сиаллитизация), латеризация (аллитизация-ферраллитизация); II. элементарные процессы, в которых главную роль играет превращение органического вещества: гумусонакопление, торфонакопление; III. элементарные процессы, в которых главную роль играет превращение и передвижение минеральных и органических продуктов почвообразования: засоление, оглеение, выщелачивание, оподзоливание, псевдооподзоливание. Схема элементарных почвенных процессов в дальнейшем была обновлена Б.Г. Розановым (1975).

Согласно И.П. Герасимову (1973), элементарные почвенные процессы (ЭПП) составляют в совокупности явление почвообразования, присущее только почвам, и при соответствующих естественных сочетаниях определяют свойства почв на уровне генетических типов, т.е. строение профиля или состав и соотношение системы генетических почвенных горизонтов. В соответствии с этим каждый генетический тип почвы характеризуется определенным, только ему одному свойственным сочетанием ЭПП, хотя отдельные процессы могут и должны встречаться (в различных сочетаниях) в разных генетических типах почв. Степень развития ЭПП, свойственные определенному типу, и добавление дополнительных ЭПП, делают возможным разделение генетических типов почв на подтипы, роды и виды. Элементарные почвенные процессы довольно сложны по своей значимости и природе и вовсе не являются элементарными по значимости самого слова «элементарный». К ним относятся специфичные для почв те природные и антропогенные процессы, которые определяют образование в профиле определенных почвенных горизонтов, обуславливают строение профиля, т.е. состав и соотношение системы генетических почвенных горизонтов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью диагностирования элементарных почвенных процессов в почвах Грузии, в частности гумусообразования, использован микроморфологический анализ почвенных шлифов (с применением поляризационно-интерференционного микроскопа BIOLAR), являясь наиболее успешным способом диагностирования ЭПП в педологии. Объектом исследований данной работы, с целью микроморфологического диагностирования основных ЭПП и выявления общих географических закономерностей микростроения органопроеилей, служит территория распространения и сочетания всего почвенного спектра Грузии в целом (гумидных, аридных, семигумидных, семиаридных регионов).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Среди ЭПП наиболее характерными для почв Грузии являются: гумусообразование, оглинение, лессивирование, оглеение, ожелезнение, окарбоначивание и др. Ниже рассмотрены вопросы микроморфологического диагностирования одного из важнейших профилеформирующих процессов почвообразования – гумусообразования, наиболее распространенного

практически во всех типах почв. Варианты *гумусообразования-гумусонакопления* характеризовались по комплексу признаков, отражающих трансформацию органического вещества (растительных остатков, сопутствующей почвенной фауны, продуктов их жизнедеятельности и конечных продуктов гумификации).

В микроморфологии почв современное понятие "гумус" подразумевает не только конечные коллоидные продукты гумификации (гумусовые кислоты), а комплекс всех видов органических веществ, свойственных почве и подвергающихся разложению, включая конечные продукты гумификации – собственно гумусовые вещества. Такое представление о понятии "гумус" исторически сложилось еще с первых работ по морфологии и микроморфологии органического вещества (Müller, 1987; Kubiena, 1970). Таким образом, "гумус" (органическая часть почвы) в микроморфологическом понятии представляет собой комплекс органических и органо-минеральных веществ разной размерности. Органическая часть почвы состоит из растительных остатков, находящихся на разных стадиях разложения, экскрементов почвенной фауны, измельчающих растительные остатки, перерабатывая и смешивая их с минеральной частью почвы, и собственно гумусовых веществ. В результате, понятия «гумус» и «органическое вещество» являются идентичными, включающие весь комплекс органических и органо-минеральных веществ.

Значительная часть органической массы представляет собой *растительные ткани* на разных стадиях разложенности, иногда с сохранившимся клеточным строением и разного рода экскрементов (рис.1). Именно эти грубодисперсные компоненты органической массы, исследование которых преимущественнее микроморфологическим анализом, в основном и содержат «потенциальный гумус». Степень подготовленности для гумусообразования разлагающихся растительных остатков, определяемая их внешним видом и участием в этом процессе разных групп почвенной фауны, является важным диагностическим признаком почв и протекающих в них процессов.



Рис. 1. Органические остатки в почве¹: а – слабо и среднеразложившиеся; б – разлагающийся корневой остаток в гумусовой плазме, пс. II

Столь разнообразные объекты, как остатки растительных тканей, продукты их разложения, экскременты почвенной фауны, гифы и тела грибов, колонии бактерий, сложные глинисто-гумусовые комплексы, наиболее успешно изучаются микроморфологически. Преимущество микроморфологического метода отчетливо проявляется в оценке «потенциального гумуса» и заключается в возможности рассмотрения степени измельченности, последовательности разложения растительных тканей, переработки педофауной, оценки деятельности мезофауны.

В. Кубиена (Kubiena, 1970), основатель генетической микроморфологии, использовал введенное П. Мюллером (Müller, 1887) понятие «форма гумуса» для обозначения всего комплекса явлений, связанных с гумусообразованием в целом. Формы гумуса, по мнению Кубиены, характеризуются не только химическими или физическими показателями, но и особенностями гумусообразования в разных горизонтах профиля, строением и развитием различных гумусовых образований. Под формами или типами гумуса понимается совокупность

¹ Информационный справочник «Микроморфология почв...», 1992.

морфологических и микроморфологических признаков гумификации и гумусообразования, наблюдаемых в гумусовом профиле почв.

Данные В. Кубиеной определения трех главных форм гумуса – грубого (raw, mor), модера (moder) и муллы (mull) – отражают строгое понимание органического вещества почв, состоящего из трех компонентов: 1) растительных остатков на разных стадиях разложения, нередко с сохранившимся клеточным строением, иногда с оптической ориентацией; 2) органических и органо-минеральных продуктов жизнедеятельности мезофауны; 3) собственно органических дисперсных веществ – органической плазмы, гумусовых кислот и гуминов.

Одним из самых существенных моментов в концепции Кубиены является оценка степени и характера связи гумуса с минеральной основой. В образовании таких связей немалую роль играют живые организмы. Классификация Кубиены, ее генетический характер, отражение в ней главных особенностей среды и почвообразования высоко оценивались многими микроморфологами. Попытки ее дальнейшего усовершенствования по линии детализации предпринимались и в дальнейшем (Yongierius, Schelling, 1960). Приводим основные признаки форм гумуса, выделенных Кубиеной, с небольшими уточнениями Йонгериуса для наиболее важных трех форм гумуса.

Форма **грубого гумуса** (“raw”) характеризуется преобладанием органических веществ, не имеющих прочных связей с минеральной глинистой составляющей. В грубом гумусе прослеживаются разнообразные стадии разложения опада с преобладанием слабо разложившихся форм (рис.2) и начальные фазы образования собственно гумусовых веществ, где деятельность фауны ограничена.

Форма **«модер» гумуса** (переходная форма к грубому гумусу) предполагает, наряду с существованием не смешивающихся с минеральной глинистой частью органических веществ, наличие прочно связанных соединений, образование которых, в значительной степени, обязано деятельности почвенной фауны – переработке массы органических остатков и минеральных частиц и выделению их в виде выбросов-экскрементов (органо-минеральных.). Изучение последних является важным в определении этой формы гумуса.

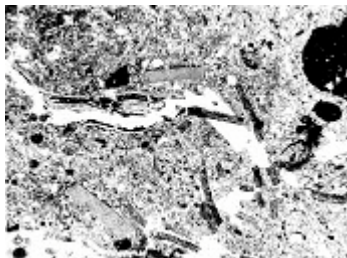


Рис. 2. Грубый гумус со свежими, оптически ориентированными растительными остатками; субтропические подзолистые почвы, пс.П

Форма **гумуса «мулль»** определяется наиболее тесной связью органических веществ с глинистой частью почвы – преобладанием глинисто-гумусовых комплексов при ограниченном содержании неразложившихся растительных остатков и подвижных форм гумуса. Почвенная фауна наиболее активна в образовании этой формы гумуса.

Основными критериями в определении форм гумуса являются морфологические признаки степени разложенности подстилки, а также мощность, окраска и структура гумусового горизонта. В то же время в географо-генетических работах, использующих микроморфологический метод, делается попытка расширить понимание форм гумуса на основании изучения комплекса таких сугубо микроморфологических признаков, как растительные остатки

и характер их разложенности, особенности деятельности почвенной фауны и наличие разных форм собственно гумусовых веществ в гумусовом горизонте и органопродиле в целом.

Характерной особенностью грубогумусного типа органопродила является наличие органогенного горизонта А₀, обладающего гетерогенным строением, подразделяемого на подгоризонты или стратотипы гумуса: L, F, H (Парфенова, Ярилова, 1977; Ромашкевич, Герасимова, 1982). Мощность каждого слоя 1-5 см. Стратотип L – рыхлоупакованные с заметной ориентацией растительных остатков разного анатомического и флористического состава; преобладают свежие и слаборазложившиеся остатки с начальными признаками разрушения тканей; следы жизнедеятельности микрофауны единичны. Стратотип F – органические компоненты более компактного сложения с субгоризонтальной ориентацией, доминируют побуревшие слабо- и среднеразложившиеся остатки с сохранившимися чертами клеточного строения, часто переплетенные грибной микрофлорой; видны хорошо выраженные экскременты клещей и коллембол. Стратотип H – рыхлая черно-коричневая органогенная масса, состоящая из сильно разложившихся растительных остатков и экскрементов, собранных в рыхлые гумусовые агрегаты; среди экскрементов преобладают выбросы клещей и коллембол, реже дождевых червей.

Органоминеральные горизонты имеют преимущественно копрогенный тип структуры, агрегированное, иногда губчатое сложение. Преобладающие органогенными компонентами являются: сгустковая бурая плазма, пропитывающая минеральный субстрат, сильно разложившиеся, измельченные и гумифицированные остатки неопределенных очертаний.

Для обозначения тонкодисперсных гумусовых веществ в микроморфологии существует общее понятие «*органическая плазма*». Ее строгое определение дано Балем (Bal, 1973) по аналогии с минеральной плазмой, применяемое в описаниях муллевых форм гумуса. Органическая плазма описывалась как темно-серая или темно-бурая относительно однородная изотропная масса, заполняющая пространство между скелетными зернами и микрозонами тонкодисперсной глинистой массы. Тесная связь органических и минеральных компонентов тонкодисперсной массы рассматривается в качестве главного и почти единственного критерия муллевого гумуса (рис.3). В литературе муллевый гумус обычно рассматривается в двух вариантах: лесной мулль и степной, т.е. кислый лесной мулль и степной кальциевый мулль, представленный в черноземах (Дюшофур, 1970). В лесных почвах при наличии заметных количеств глинистых частиц в гумусовом горизонте, муллевость гумуса иного рода. Отсутствуют изотропные глинисто-гумусовые образования и в проходящем свете они имеют не черную или темно-серую, а темно-бурую или бурую окраску. Т.е. гумусонакоплению в кислой среде соответствует тип модер, лесной мулль; в нейтральной среде – кальциевый мулль.



Рис. 3. Микростроение гумусовых горизонтов с дисперсной органической плазмой², пс.П

В переработке органического материала почв (подстилок, опада и др.) принимают участие две группы представителей почвенной фауны – т.н. первичные и вторичные разлагатели. Первые поедают растительные остатки, изменяя их лишь частично, способствуют разложению мягких тканей, но их главная роль заключается в измельчении, фрагментации расти

² Информационный справочник «Микроморфология почв...», 1992.

тельных остатков. Плохо переработанные первичными разлагателями растительные остатки подвергаются дальнейшему воздействию и часто вновь служат пищей для многих видов почвенной фауны – вторичных разлагателей. Они подвергают экскременты первичных разлагателей, растительные остатки и их фрагменты биохимическим преобразованиям, частично минерализуя и смешивая органические и минеральные компоненты до образования органо-минеральных комплексов, т.е. вторичные разлагатели выступают как энергичный гумификатор и гумусообразователь. Они являются компонентами почвенной фауны многих почв, однако в лесостепных и степных зонах становятся важным фактором гумусообразования.

Растительные остатки подразделяются по степени разложённости: слабо-разложённые; средне- и сильно-разложённые; углеподобные частицы. **Слабо-разложившиеся** остатки сохраняют хорошо различимое клеточное строение тканей, содержат внутри слабо преобразованный бурый внутриклеточный субстрат. Окраска меняется от желтой до бурой. Морфологическое строение исходной ткани растения нарушено, встречаются деформации стенок и перераспределение внутреннего содержимого. В скрещенных николях обнаруживается отчетливое двупреломление стенок клеток. **Средне-разложившиеся** растительные остатки характеризуются бурой окраской разной интенсивности, сохраняя частично клеточное строение и морфологический облик остатка. Наблюдается интенсивное распадание тканей на фрагменты, происходит удаление клеточного содержимого. Остатки изотропные, интенсивно заселены грибной микрофлорой. **Сильно-разложившиеся** растительные ткани характеризуются лишь слабой сохранностью клеточной структуры, превращаются в бурую коллоидную и изотропную массу в виде сгустков и фрагментов, распознаются отдельные клетки. Расположение сгустков и фрагментов повторяет форму исходной ткани. **Углеподобные частицы**, выделенные в отдельную группу, являются продуктом неполной минерализации растительных остатков. Имеют непрозрачную черную окраску, хорошо сохраняется каркас из стенок клеток. **Гумусовая плазма** – продукт гумификации органических остатков, окрашена в бурые и интенсивно темно-бурые тона, имеет коллоидный облик, распределена в виде: полиморфных компактных и рыхлых сгустков, хлопьев в минеральной основе (закрепленная гумусовая плазма образована *in situ*); мономорфных пленок на минеральных частицах (светло-бурая подвижная гумусовая плазма, чаще иллювиального генезиса), которая, как правило, сочетается с глинистым веществом, гидроксидами железа и алюминия.

Рассмотренные выше критерии типизации органического вещества по морфологическим признакам позволяют в полной мере дать характеристику органических профилей, выделить основные факторы и процессы, определяющие трансформацию и гумификацию растительного материала в почвах.

Итак, главными микроморфологическими критериями определения форм гумуса являются признаки трансформации органического вещества почв: характер растительных остатков и степень их разложённости; активность почвенной фауны, оцениваемая по воздействию на растительные остатки и по экскрементам в подстилке и гумусовом горизонте; степень смешанности минеральной и тонкодисперсной части органического вещества; проявления органической плазмы в основе и др.

С целью диагностирования морфотипов гумуса в почвах Грузии, проведен подробный учет микроморфологических показателей всех составляющих органических компонентов в органических профилях рассматриваемых почв, а именно: растительных остатков, сопутствующей почвенной фауны, продуктов их жизнедеятельности и конечных продуктов гумификации (табл.1).

На основе составления соответствующих критериев определены основные морфотипы гумуса в изученных органо-профилях почв. Для почв Грузии выделено пять групп гумуса: I – raw; II – moder; III – mull; и их различные комбинации: IV – raw-moder или moder-raw; V – moder-mull или mull-moder. Группе raw (грубому гумусу) среди почв Грузии соответствуют, в основном, болотные и засоленные почвы; группе moder (средней разложённости-дисперсности) – дерново-карбонатные, субтропические подзолистые, желтоземы, аллювиальные; группе mull (т.е. дисперсному, собственно гумусовому веществу) соответствуют следующие почвы: черные (равнинные черноземы), горные черноземы, коричневые, в отдельных случа

ях, лугово-коричневые; группе *raw-moder* и/или *moder-raw* (переходной форме от грубого к среднему) соответствуют, прежде всего, горно-луговые и субтропические подзолисто-глеевые почвы; и группе – *moder-mull* и/или *mull-moder* (переходной форме от среднего к дисперсному) соответствует следующая группа почв Грузии: красноземы, серо-коричневые, бурые-лесные, лугово-коричневые, лугово-серо-коричневые.

В результате детальной микроморфологической оценки форм гумуса, учета органических компонентов и группирования соответствующих типов в органопрофилях почв, составлена карта распространения морфотипов гумуса в почвах Грузии (см. карту). На основе обобщения микроморфологических свойств диагностирования гумусообразования в рассматриваемых почвах, построение контуров при составлении карты проводилось по выделенным выше морфотипам гумуса в изученных органопрофилях основных почв Грузии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс гумусообразования распространен практически во всех типах почв и микроморфологически диагностируется по комплексу признаков, отражающих трансформацию органического вещества. На основе подробного учета микроморфологических показателей всех составляющих органических компонентов (растительных остатков, сопутствующей почвенной фауны и конечных продуктов гумификации) и составления соответствующих критериев, определены основные морфотипы гумуса в изученных органопрофилях почв Грузии. Группирование микроморфологических показателей органических веществ по грубости и дисперсности, позволило выделить свойственные морфотипы “гумуса” для каждого типа почв, в частности: грубый (*raw*) гумус соответствует болотным и засоленным почвам; гумус средней разложенности (*moder*) характерен для дерново-карбонатных, субтропических подзолистых, желтоземов, аллювиальных почв; дисперсный (*mull*) гумус наиболее свойствен равнинным и горным черноземам, коричневым, лугово-коричневым почвам; переходной форме гумуса от грубого к среднему (*raw-moder* и/или *moder-raw*) соответствуют горно-луговые и субтропические подзолисто-глеевые почвы; переходной форме от среднего гумуса к дисперсному (*moder-mull* и/или *mull-moder*) – красноземы, серо-коричневые, бурые-лесные и лугово-серо-коричневые почвы Грузии. Составлена карта распространения морфотипов гумуса в почвах Грузии. Принцип картирования основан на обобщении микроморфологических свойств диагностирования гумусообразования в рассматриваемых почвах, а построение контуров проводилось по выделенным морфотипам гумуса в изученных органопрофилях основных почв Грузии.

Таблица 1. Морфотипы гумуса в органо профилях почв Грузии

№	П о ч в а	Мощность органо-профиля, см	Признаки органо-профиля					Глинисто-гумусовые образования	Экскременты педофауны	Морфотипы гумуса	
			Растительные остатки	Органическая плазма	Глинисто-гумусовые образования	Экскременты педофауны	Морфотипы гумуса				
			слабо измененные, почти свежие с оптической ориентацией и клеточным строением	частично раздробленные, средне разложенные с сохранившимся клеточным строением	измельченные, сильно разложенные, с частичным клеточным строением	по растительным остаткам	в копролитах	анизотропны	первичных разлагателей	вторичных разлагателей	
1	горно-луговые	20-40	+++	+++	+	+++	++	-	++	-	raw-moder
2	бурые лесные	15-25	++	++	++	++	+	+	+	++	mull-moder
3	дерново-карбонатные	20-40	+++	+++	+	+	+	-	+	+	moder
4	горные черноземы	30-40	+	+	++	+	+	+	+	++	mull
5	черные (черноземы)	40-50	-	+	++	+	++	+	++	++++	mull
6	коричневые	20-35	+	++	+++	++	+	+	+	++	mull
7	лугово-коричневые	20-30	-	+	++	+	++	++	++	+++	moder-mull
8	серо-коричневые	10-15	+	++	++	+	+	+	+	+++	moder-mull
9	лугово-серо-коричневые	10-30	++	+++	+	++	+	++	+++	+	mull-moder
10	засоленные	10-15	+++	++	++	+	-	-	+	-	raw
11	красноземы	10-40	+	+	++	+	-	++	++	++	moder-mull
12	желтоземы	10-20	+	++	+	+	-	++	+	++	moder
13	субтропические подзолистые	15-25	+++	+++	++	++	+	-	+	-	moder
14	субтропические подзолисто-глеевые	15-20	+++	++	+	+++	+	++	+++	+	raw-moder
15	аллювиальные	15-30	++	++	++	+	+	+	+	+	moder
16	болотные	15-25	+++++	+++	+	+	-	-	-	-	raw

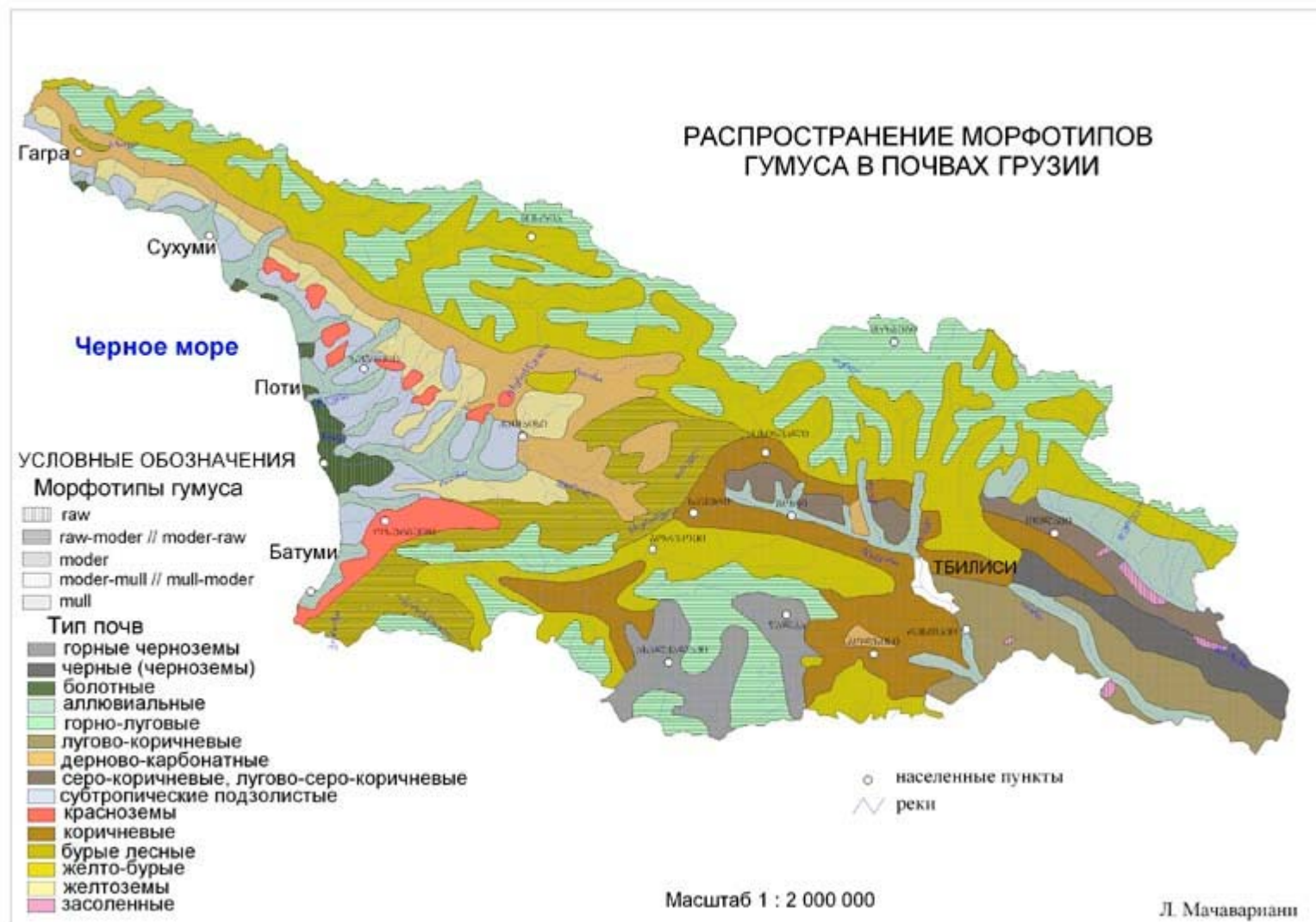


Рис. 4. Карта распространения морфотипов гумуса в почвах Грузии

ЛИТЕРАТУРА

- Герасимов И.П. Элементарные почвенные процессы как основа для генетической диагностики почв // Почвоведение, 1973, №5, с.102-113.
- Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и география почв. М., 1960, 233 с.
- Дюшофур Ф. Основы почвоведения. Эволюция почв: пер. с франц.. М., Прогресс, 1970.
- Мачавариани Л.Г. Морфогенетическая типизация конкреций субтропических подзолистых почв // Почвоведение, 2005, №11, с. 1310-1322.
- Парфенова Е.И., Ярилова Е.А. Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении. М, Наука, 1977, 198 с.
- Ромашкевич А.И., Герасимова М.И. Микроморфология и диагностика почвообразования. М., Наука, 1982, 125 с.
- Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М., Изд. Ан СССР, 1948.
- Розанов Б.Г. Генетическая морфология почв. М., МГУ, 1975, 293 с.
- Ball L. Micromorphological analysis of soils. Wageningen, 1973.
- Kubiena W. Micromorphological Features of Soil Geography. New Brunswick, New Jersey, 1970.
- Müller P.E. Studien über die natürlichen Humusformen. Berlin, 1887.
- Yongerius A., Schelling I. Micromorphology of organic matter under the influence of soil organisms, Especially Soil Fauna // Trans. of the VII Intern. Congr. of Soil Sci., 1960, Madison, vol. 2.