

ОГЛЕЕНИЕ, ОЛИВИЗАЦИЯ И ГИДРОМЕТАМОРФИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Ю. Н. Водяницкий

Почвенный институт им. В.В. Докучаева

Почвенные горизонты с оливковой, зеленоватой окраской традиционно считались глеевыми. На генетические различия окраски сизых (голубовато-серых) и оливковых горизонтов обращалось мало внимания. Оливковые и сизые тона часто в равной степени ассоциируются с развитием глеевого процесса (Высоцкий, 1962; Зайдельман, 1992; World reference..., 1998). Но некоторые авторы обращают внимание на различие окраски переувлажненных почв. Детально изучая влияние оглеения на цвет почв, Карманов (1974, с. 107) выявил, что «под общим термином «оглеение» рассматриваются существенно разные процессы, неодинаково влияющие на спектральную отражательную способность почв». У некоторых глеевых горизонтов голубоватый тон неустойчив, он резко и быстро изменяется в окислительных условиях. У других почв холодная окраска изменяется мало. Моделирование показало, что зеленая окраска становится устойчивой после обработки в восстановительной среде образца монтмориллонита, предварительно насыщенного Fe. В природных условиях зеленая окраска долго сохраняется в переувлажненных подпахотных горизонтах некоторых тропических рисовых почв с тяжелым гранулометрическим составом. Эти наблюдения говорят о закреплении Fe в решетке смектитов.

Оливициация. Детальное исследование причин различия холодных тонов горизонтов переувлажненных почв провел Э.А. Корнблум (1967, 1978). Его данные показывают, что сизые и оливковые горизонты пойменных почв генетически различны, и диагностическое значение соответствующих окрасок неодинаково. Сизые горизонты образуются в переувлажненных почвах с развитием восстановительных процессов за счет редукции Fe³⁺ до Fe²⁺. Напротив, оливковая окраска образуется за счет перехода железа из состава гидроксидов в решетку слоистых силикатов, при этом оливковая окраска устойчива в окислительной среде. Корнблум доказал, что оливковый цвет является собственным цветом глинистых минералов, содержащих ионы Fe³⁺ в октаэдрической сетке. Широко распространенное мнение об оглеенном, восстановленном состоянии оливковых горизонтов, по мнению Корнблума, не отвечает действительности. При оливициации в степных почвах происходит перераспределение ресурсов железа между двумя его главными формами, а именно переход Fe из состава гидроксидов в решетку слоистых силикатов. В решетку силикатов Fe внедряется при развитии весенних восстановительных процессов.

«Оливициация» почв по Э.А. Корнблumu (1967, 1978) – почвообразовательный процесс, при котором Fe поглощается слоистыми силикатами, приобретающими оливковую окраску, устойчивую в окислительной среде. Если окраска маскируется гумусовыми соединениями, то ее наличие выявляется в лаборатории после окисления почвы перекисью водорода. Механизм оливициации – поглощение железа из состава бурых гидроксидных пленок октаэдрическим слоем 2:1 слоистых силикатов в восстановительной среде переувлажненных почв. После аэрации почв железо фиксируется в решетке в виде Fe³⁺ и горизонт приобретает оливковый цвет (Козловский, Корнблум, 1972; Корнблум, 1978). Значение оливициации для почвообразования определяется тем, что гидроморфная почва лишается свободных (гидр)оксидов железа, не изменяя содержание тонкодисперсных частиц. Козловский (2003) рассматривает оливициацию как частный процесс в составе общего процесса «оглинивания» почв.

К сожалению, идея Э.А. Корнблума об оливициации степных переувлажненных почв оказалось забытой. В соответствии с современной Классификацией почв России (2004) в этих почвах выделяется отдел неглеевых «гидрометаморфических почв», включающий гумусово- и перегнойно-гидрометаморфические, а также агрогумусово- и агроперегнойно-гидрометаморфические почвы. Почвы отдела характеризуются темногумусовым или перегнойным горизонтом, постепенно переходящим в специфический гидрометаморфический горизонт, где в условиях нейтральной или слабощелочной среды, несмотря на регулярное переувлажнение, нет обычных цветовых признаков глея в виде сизых и голубых пятен. Окраска гидроморфных горизонтов стальная или оливковая.

Гидрометаморфический процесс наблюдается в степных и лесостепных почвах (включая солонцы и черноземы) с нейтральной или слабощелочной реакцией среды; соответствующему горизонту придан индекс Q.

Вероятно, «гидрометаморфический процесс» по своей природе сложный и неоднозначный, поскольку соответствующие горизонты характеризуются как оливковым, так и серым (стальным) цветами, имеющими генетические различия. Н.Б. Хитров (2006) выявил гидрометаморфические горизонты оливкового цвета в черноземовидных слитоземах Предкавказья с тяжелым гранулометрическим составом и преобладанием среди глинистых минералов смектитов, что вполне согласуется с концепцией оливициации. В таких почвах оливковая окраска обеспечивается за счет ферритизации слоистых силикатов. Эти почвы следует выделить из большой группы гидрометаморфических почв, придав им генетически обусловленное название «оливицированных» с соответствующим индексом диагностического горизонта «O». Описание «оливицированных» почв, следует дополнить характеристикой гранулометрического состава (тяжелый состав). Исходя

из сути оливизации, можно сказать, что в данном горизонте накапливаются феррисиликаты.

Гидрометаморфический процесс. У других гидрометаморфических почв, в частности солонцов, окраска стальная или серая. Для них следует сохранить название «гидрометаморфические почвы», признав, то химия и минералогия гидрометаморфического процесса пока изучена не достаточно. Таким образом, большую группу степных переувлажненных минеральных почв можно разбить на две: оливизированные и собственно гидрометаморфические. Приобретение почвой серой окраски часто обусловлено действием гумуса, но в гидроморфных почвах – и за счет минеральной части; такая вероятность выше при светло-серой окраске горизонта, чем при темно-серой. Однако химико-минералогическая суть гидрометаморфического процесса не ясна и требует всестороннего изучения. Количественно характеризовать степень развитие этого процесса удобно в оптической системе CIE- $L^*a^*b^*$ (Водяницкий, Шишов, 2004). Степень гидрометаморфизма выражается через светлоту L^* при условии, что краснота $a^* \rightarrow 0$ и желтизна $b^* \rightarrow 0$; при этом она характеризуется высокой светлотой $L^* > 55$. При более низких значениях светлоты свое влияние оказывает гумус. Безусловно, процесс гидрометаморфизма и оливизации генетически отличается от процесса оглеения.

Оглеение, как указывают многие авторы (Карманов, 1974; Розанов, 1983), – процесс неоднородный. Существует два принципиально разных механизма глеегенеза.

1. Первый механизм сформулировал Г.Н. Высоцкий. В статье "Глей" (Высоцкий, 1962, с. 88) глеегенез определен как процесс «раскисления окиси железа, превращению ее в соединения закиси и затем вынос водой, т.е. выщелачивание». При этом подчеркивается, что оглеение развивается за счет растворения «... буро-желтых, желто-бурых и тому подобно окрашенных окисью железа глин, суглинков и супесей...» (с. 87-88). Таким образом, данная форма глея характерна для почв с исходно развитым оксидогенезом железа.

Аналогичным образом Ф.Р. Зайдельман (1992, с. 12) характеризует «... глееобразование как почвообразовательный процесс, протекающий в анаэробных условиях при обязательном участии гетеротрофной микрофлоры и наличии органического вещества в условиях постоянного или периодического обводнения отдельных горизонтов или всего профиля. Глееобразование сопровождается переходом окисных соединений в закисные и несбалансированным выносом железа». Поскольку форма оглеения в виде обезжелезнения не единственная, то для деферритизированного глея дадим особый индекс Gdf.

Образование обезжелезненного глея наиболее типично для промывного режима влажности. Об этом говорят модельные опыты Зайдельмана

(1992), в ходе которых отмечена значительная потеря свободного Fe (наряду и даже с преобладанием потери силикатного Fe) при промывном режиме. Он способствует выносу Fe(II), как продукту реакции и развитию редукции все новых Fe(III)-содержащих частиц.

Обезжелезненный глей, как видно из определения, отличается потерей преимущественно несиликатного железа (Зайдельман, 1992). При этом в профиле переувлажненной почвы отмечается минимум свободного Fe. Так, четкая последовательность потери свободного Fe₂O₃ обнаружена в хроноряду польдеров, используемых под рис в почвах на однородных материнских породах в Японии (Vreeman, 1988).

При элювиальном оглеении происходит не только снижение яркости цветового тона, но и осветление горизонта (Зайдельман, 1991; 1998). Последнее изменение в рамках системы CIE- $L^*a^*b^*$ выражается в увеличении показателя светлоты L^* . Следовательно, при глеевом обезжелезнении горизонта происходит как снижение красноты a^* , так и увеличение светлоты L^* .

2. Второй механизм оглеения проявляется в условиях застоя влаги и плохого дренажа. Тогда причиной сизого цвета переувлажненных почв становится накопление Fe(II) как в сорбированной форме, так и в виде Fe(II)-минералов. А.А. Роде в примечании к переизданной статье Н.Г. Высоцкого (1962, с. 88) говорит следующее. «Наиболее характерной чертой оглеения является образование вторичных глинистых минералов, содержащих в себе закись железа, которая в такой форме довольно устойчива к процессам окисления. Эти минералы окрашены в зеленоватые, голубоватые, иногда даже синие тона, чем и определяют соответствующий цвет глея. Вынос железа в закисной форме часто сопутствует оглеению, но не является обязательным явлением».

Дальнейшее изучение переувлажненных почв показало, что описанная А.А. Роде редукционная форма оглеения распространена при застойном режиме влажности, в частности, в заторфованных почвах (Ковалёв, 1985).

Редукционная точка зрения А.А. Роде приобрела права гражданства и зафиксирована в статье «Глей» в «Толковом словаре по почвоведению» (1975, с. 62). «Глей в современном понимании обозначает горизонт, измененный биохимическим восстановлением в условиях переувлажнения, наличия органического вещества и соответствующей микрофлоры. В окраске преобладает зеленоватый, голубоватый или сизый цвет». То же самое сказано в современном «Словнике» (Большаков и др., 2004). Как видно, в этой формулировке нет упоминания об обезжелезнении горизонта.

Редукционная точка зрения принята международным обществом почвоведов, что нашло отражение в Международной базе почвенных данных (World reference..., 1998), где глей Gg идентифицируют на основании низкого значения показателя парциального давления водорода $\text{gH} < 19$, полу-

ченного для реакции редукции $\text{Fe}(\text{OH})_3$ до Fe^{2+} . В случае обезжелезненного глея минимальное значение отрицательного логарифма парциального давления водорода $\text{pH}_{\text{мин}}$ может сильно превышать критическое (19), поскольку биологически доступное $\text{Fe}(\text{III})$ вынесено из горизонта.

Часто при застойном режиме влажности переувлажняются почвы в понижениях рельефа, куда железо поступает с грунтовой водой. В результате почвенный профиль в целом ожелезняется. При ожелезнении гидроморфных почв светлота L^* оглененного редукционного горизонта меняется иначе, чем обезжелезненного. Такая картина отмечена в катене Бекрята тяжелосуглинистых почв, Пермский край (Водяницкий, и др., 2007). Следовательно, по изменению светлоты дифференцируются группы по-разному оглеенных почв. Обезжелезненные почвы отличаются не только холодным тоном (низкой краснотой a^*), но и низкой светлотой L^* , вероятно, вследствие промывного режима и удаления продуктов редукции (гидр)оксидов железа. Напротив, редуцированные горизонты (хотя и имеют также низкую красноту) отличаются низкой светлотой L^* за счет синтеза темных $\text{Fe}(\text{II})$ -минералов в условиях слабого оттока продуктов редукции $\text{Fe}(\text{III})$.

Внесем изменения в формулировку глея. Во-первых, представление о «биохимическом восстановлении» отражает уровень науки в 70-х годах прошлого века. Сейчас выявлена огромная роль железоредуцирующих бактерий (Kostka et al., 1996; Kostka, Wu et al., 1999; Lovley 2001; Lovley, Blunt-Harris, 1999; Lovley, Coates, et al., 1996; Lovley, Fraga et al., 1998. Водяницкий, 2006; Водяницкий, Шелоболдина, 2007). Доказано участие в процессе редукции бактерий вида *Geobacter* и *Shewanella*. Поэтому в определении глея надо добавить механизм биологического восстановления. Во-вторых, из характеристики глея следует исключить зеленоватый цвет, поскольку он связан с генетически иным процессом оливициации (Козловский, Корнблум, 1972). В-третьих, необходимо выделить механизм обезжелезнения как одного из видов глея. Дадим уточненное определение глея и процессов оглеения.

Глей обозначает горизонт, измененный биохимическим и биологическим восстановлением в условиях переувлажнения, наличия органического вещества и соответствующей микрофлоры. В окраске преобладает голубоватый или сизый цвета. В зависимости от характера превращений соединений железа глей разделяется на два вида: обезжелезненный (Gdf) и редуцированный (Gr).

Оглеение – не однородный процесс, включающий как образование $\text{Fe}(\text{II})$ -соединений преимущественно при застойном режиме влажности, так и обезжелезнение – при промывном режиме. Обезжелезнение протекает по-разному в зависимости от степени исходного оксидогенеза в почве. В почвах с развитым оксидогенезом глеевое обезжелезнение захватывает преимущественно (гидр)оксиды железа, что приводит к резкому измене-

нию цвета горизонта от теплых тонов до холодных, сизых и повышению содержания илстых частиц за счет растворения Fe -цемента микроагрегатов. В почвах с неразвитым оксидогенезом глеевое обезжелезнение захватывает преимущественно $\text{Fe}(\text{III})$ -содержащие слоистые силикаты, что мало сказывается на цвете оглененного горизонта, но приводит к снижению содержания илстых частиц.

Таким образом, в своем определении мы учитываем два механизма глеегенеза: элювиального обезжелезнения по Н.Г. Высоцкому и редукционного механизма с образованием $\text{Fe}(\text{II})$ -соединений, по А.А. Роде. В природных условиях встречаются оба вида глея. Предпринятая нами дифференциация глея, желательна не только для классификационных, но и для сельскохозяйственных и экологических целей, поскольку свойства двух видов оглеенных горизонтов существенно различаются.

Представим все варианты изменения форм соединений железа в переувлажненных минеральных почвах в виде схемы (рис.). Как видно, развитие переувлажнения зависит от степени оксидогенеза Fe в почве, который условно делится по доли свободного железа от валового $K_{\text{св}} = \text{Fe}_{\text{св}} : \text{Fe}_{\text{вал}} = 0.3$. В большинстве переувлажнённых минеральных лесных и степных почв редокс режим переменный; при этом окислительный этап может влиять или не влиять на морфологию оглеенных горизонтов. Влияние оксидогенеза становится морфологически значимым при образовании пятен ферригидрита на сизой обезжелезненной матрице.

В почвах со слаборазвитым оксидогенезом редуцируется структурное Fe филлосиликатов, что приводит к их обезжелезнению и даже к распаду частиц глинистых минералов.

Оливициация характерна для степных почв тяжелого гранулометрического состава и с неразвитым оксидогенезом железа. Для оливицированных слитых горизонтов дан новый индекс ОI. Гидрометаморфизм характерен для степных засоленных почв с неразвитым оксидогенезом железа; у соответствующего горизонта индекс Q.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дано новое определение глея. В него добавлен механизм биологического восстановления. Кроме того, из характеристики глея исключен зеленоватый цвет, поскольку позеленение связано с генетически иным процессом оливициации. Глей подразделяется на «обезжелезненный», по Н.Г. Высоцкому, и «редуцированный», по А.А. Роде.

В степных переувлажненных почвах с нейтральной реакцией среды и со слабым исходным оксидогенезом развивается неглеевый гидроморфизм. В современной Российской классификации такие почвы включены в отдел «гидрометаморфических почв». Между тем, судя по разному цвету этих почв:



Рис. 9. Схема превращения железа в переувлажненных тяжелых минеральных почвах. 1 – степень развития исходного оксидогенеза в почве; 2 – процесс гидроморфизма; 3 – проявление окислительного этапа; 4 – превращение соединений железа; 5 – изменение свойств гидроморфных почв и индексы горизонтов.

серая (стальная) или оливковая – гидроморфные горизонты генетически различаются. Почвы тяжелого гранулометрического состава оливкового цвета целесообразно выделить и обозначить как «оливизированные», по Э.А. Корнблюму, который охарактеризовал процесс оливизации как ожезнение слоистых силикатов за счет редукции Fe гидроксидов. Гидроморфным почвам серого цвета целесообразно оставить название «гидрометаморфически».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины, их краткое определение, справочные материалы по общей и почвенной эко-

логии, географии и классификации почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 138 с.

Водяницкий Ю.Н. Химия, минералогия и цвет оглеенных почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 170 с.

Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Гилев В.Ю. Минералы железа в почвах на красноцветных отложениях Предуралья // Почвоведение. 2007. № 4. С. 474–486.

Водяницкий Ю.Н., Шелоболina Е.С. Биологическая редукция (гидр)оксидов железа (III) в почвах и роль природного органического вещества в этом процессе // Агрохимия. 2007. № 8.

Водяницкий Ю.Н., Шишов Л.Л. Изучение некоторых почвенных процессов по цвету почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 88 с.

Высоцкий Г.Н. Глей. Избр. соч. Т. 2. М.: Изд. АН СССР, 1962. С. 70–91.

Зайдельман Ф.Р. Естественное и антропогенное переувлажнение почв. СПб: Гидрометеиздат. 1992. 288 с.

Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почвов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 300 с.

Зайдельман Ф.Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. М.: Агропромиздат, 1991. 319 с.

Карманов И.И. Спектральная отражательная способность и цвет почв, как показатели их свойств. М.: Колос, 1974. 351 с.

Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982. 246 с.

Классификация и диагностика почв России / Под ред. Л.Л. Шишова, В.Д. Тонконогова, И.И. Лебедевой, М.И. Герасимовой. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. 341 с. .

Ковалев В.А. Болотные минерально-геохимические системы. Минск: Наука и техника, 1985. 327 с.

Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: Геос, 2003, 535 с.

Козловский Ф.И., Корнблюм Э.А. Мелиоративные проблемы освоения пойм степной зоны. М.: Наука, 1972. 220 с.

Корнблюм Э.А. Изменения глинистых минералов при образовании почв Волго-Ахтубинской поймы // Почвоведение. 1967. № 11.

Корнблюм Э.А. Прогноз изменения глинистых минералов почв сухих и пустынных степей СССР при длительной культуре риса / Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 279–284.

Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.

Толковый словарь по почвоведению / Под ред. А.А. Роде. М.: Наука, 1975. 286 с.

Хитров Н.Б. Процессы почвообразования и их диагностика в глинистых набухающих почвах Центрального Предкавказья // Почвообразовательные процессы. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. С. 202–235.

Breemen N. Long-term chemical, mineralogical, and morphological effects of iron-redox processes in periodically flooded soils // Iron in soils and clay minerals. NATO. Dordrecht: Reidel. 1988. P. 811–823.

Kostka J.E., Stucki J.W., Nealson K.H., Wu J. Reduction of structural Fe(III) in smectite by a pure culture of the Fe-reducing bacterium *Shewanella putrefaciens* strain MR-1 // Clays Clay Minerals. 1996. V. 44. P. 522–529.

Kostka J.E., Wu, J., Nealson, K.H., Stucki, J.W. Effects of microbial reduction on physical and chemical properties of clay minerals // Geochim. Cosmochim. Acta, 1999. V. 63. P. 3705–3713.

Lovley D.R. Reduction of iron and humics in subsurface environments // Subsurface Microbiology and Biogeochemistry / Ed. J.K. Fredrickson, M. Fletcher. 2001. P. 193–217.

Lovley D. R., Blunt-Harris E. L. Role of humic-bound iron as an electron transfer agent in dissimilatory Fe(III) reduction // Appl. Environ. Microbiol. 1999. V. 65. P. 4252–4254.

Lovley D. R., Coates J. D., Blunt-Harris E. L., Phillips E. J. P., Woodward J. C. Humic substances as electron acceptors for microbial respiration // Nature. 1996. V. 382. P. 445–448.

Lovley D.R., Fraga J.L., Blunt-Harris E.L., Hayes L.A. Phillips E.J.P., Coates J.D. Humic substances as a mediator for microbially catalyzed metal reduction // Acta Hydrochim. Hydrobiol. 1998. V. 26. № 3. P. 152–157.

World reference base for soil resources. Isss/Isric/Fao, Wageningen-Rome. 1998. N 84. 88 p.