

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4

ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЕ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ, СПОСОБЫ ИХ ЗАЩИТЫ

© 2017 г. Ф. Р. Зайдельман

МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

e-mail: frz10@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.11.2015 г.

Обобщен отечественный и зарубежный опыт изучения процесса глееобразования и его результаты, связанные с воздействием глееобразования на почвы и почвообразующие породы. Изложены концепции последствий оглеения на минеральный состав почвообразующих пород и почв, показана необходимость дифференцированного подхода к оценке глееобразования в зависимости от типа водного режима – застойного и застойно-промывного. Установлено, что для возникновения оглеения необходимы 3 фактора: 1 – переувлажнение почв, 2 – наличие способного к ферментации органического вещества, 3 – присутствие анаэробной гетеротрофной микрофлоры. Установлено, что светлые кислые элювиальные (то есть подзолистые) горизонты возникают в профилях почв под влиянием глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима. Показано, что именно эта форма глееобразования оказывает наиболее сильное деградационное воздействие на минеральное и органическое вещество почв. Установлена целесообразность дифференциации минеральных почв в зависимости от трех видов кислотного гидролиза, обусловленного промывным, застойным и застойно-промывным водным режимом. Деградация почв может проявляться в естественных условиях или возникать под влиянием антропогенных факторов. В этих случаях необходимо учитывать опасные последствия глееобразования (особенно последствия оглеения в условиях застойно-промывного водного режима). Рассмотрены такие случаи и предложены способы защиты почв от деградационных изменений.

Ключевые слова: глееобразование, анаэробноз, оглеение, застойный и застойно-промывной водный режим, подзолообразование, лизиметрический сток, почвообразующие породы

DOI: 10.7868/S0032180X17070139

ВВЕДЕНИЕ

Развитие новых направлений в почвоведении, как правило, связано с открытием новых неизвестных законов природы и их применением в практике. Именно такой путь прошло направление почвоведения, связанное с проблемами почвенного гидроморфизма, глееобразования и решения многих задач в области гидромелиорации почв. Это направление следует рассматривать как учение о закономерностях трансформации почвообразующих пород и почв разного генезиса в переувлажненных анаэробных условиях. История его формирования тесно связана с трудами Высоцкого [2] и его учеников. Эти работы в основном сосредоточены на расшифровке механизма глееобразования и его последствий в условиях влияния разных форм гидрологического режима на разных породах и оценке последствий этого процесса.

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ

В 2015 г. исполнилось 110 лет со дня открытия Высоцким [2] нового почвообразовательного

процесса – глееобразования. Впервые термин глей был заимствован В.В. Докучаевым из народной речи и введен в почвоведение для обозначения переувлажненных почв [7]. Докучаев широко использовал этот термин при написании магистерской диссертации “Способы образования речных долин Европейской равнины”, опубликованной в 1873 г. Однако в те годы, на заре становления почвоведения как самостоятельной науки, механизм глееобразования и особенности оглеенных почв все еще оставались практически неизвестными. Глееобразование как самостоятельный почвообразовательный процесс в анаэробной среде получил свое признание после выхода в свет статьи выдающегося почвоведом, гидрологом и генетиком Г.Н. Высоцкого. Эта статья была опубликована в № 4 журнала “Почвоведение” за 1905 г. под названием “Глей”. Поскольку в те годы журнал выходил не только на русском, но и на французском языках, эта публикация, объемом 36 страниц, вскоре стала известной сообществу мирового почвоведения, а генетическое признание этой работы нашло отражение в почвенных классификациях большинства стран и, особенно, стран

с гумидным климатом [5]. В этой статье Высоцкий сформулировал основные критерии глееобразования. Его важнейшие диагностические признаки сводились к следующему: во-первых, оглеенные минеральные почвы отличаются наличием морфохроматических признаков гидроморфизма. Эти признаки оглеения характеризуются присутствием специфической холодной окраски минеральных горизонтов почвенного профиля — светло-серой, голубоватой, синеватой, синей, сизовато-синей и иной окраской холодного цвета; во-вторых, важным критерием оглеения и действия процесса глееобразования является вынос железа из оглеенных горизонтов почвенного профиля (по отношению к материнской породе). Естественно, в те годы эти и другие признаки глееобразования еще не получили исчерпывающей оценки, но уже тогда они позволяли исследователям применять в полевой работе достаточно объективные критерии диагностики степени гидроморфизма почв. В прикладном отношении важно то обстоятельство, что глееобразование теснейшим образом связано со многими направлениями народного хозяйства страны: сельского и лесного хозяйств, с различными видами гидромелиораций — осушением, орошением, диагностикой степени заболоченности и другими. Несомненно, исключительно актуально диагностическое значение глееобразования при составлении почвенных и почвенно-мелиоративных карт, при разработке классификации гидроморфных почв, при решении других задач. Глееобразование интересно еще и тем, что оно, в отличие от многих других почвообразовательных процессов, легко поддается физическому моделированию. Это позволяет оперативно решать многие прикладные и научные вопросы.

После работ Г.Н. Высоцкого внимание исследователей было сосредоточено, преимущественно, на изучении химических аспектов этого процесса и его влияния на миграционную активность железа, алюминия, марганца, кальция и других элементов. Эти исследования связаны в нашей стране с именами А.А. Завалишина, К.В. Веригиной, С.П. Яркова, Т.А. Рожновой, И.С. Кауричева и Е.М. Ноздровой, Я.Я. Томашевского, Ю.А. Ливеровского и Г.С. Дзяевич, В.Г. Касаткиной, А.И. Перельмана, А.А. Роде и других авторов. В зарубежной литературе актуальные материалы по глееобразованию содержатся в работах I. Wytin, G. Krauss, C. Bloomfield, W. Kubiena, I. Siuta, R. Brewer, E. Muckenhausen, U. Schwertmann и др. Тем не менее, к началу 1970-х годов многие вопросы глееобразования ее остались нерешенными. Так, в частности, не были раскрыты особенности и последствие глееобразования при разных типах водного режима; связи этого процесса с другими процессами образования; неизвестными оставались количественные критерии и методы его диагностики. Неслу-

чайно поэтому А.А. Роде, подводя итоги изучения почвообразовательных процессов, спустя почти 70 лет после выхода в свет статьи Г.Н. Высоцкого в 1971 г. писал, что “от понимания сущности глеевого процесса мы все еще очень далеки” [13]. Вместе с тем следует подчеркнуть, что в середине XX столетия в нашей стране и за рубежом были получены новые важные данные о механизме глееобразования, которые существенно расширили представления об этом уникальном современном и весьма древнем почвообразовательном процессе.

МОРФОЛОГИЯ ОГЛЕЕННЫХ ПОЧВ, ИХ ГЕНЕЗИС И КЛАССИФИКАЦИЯ

В первой половине XX в. идеи о почвенном гидроморфизме, развиваемые Г.Н. Высоцким, нашли практическое и научное отражение в работах многих российских и немецких почвоведов. В 1928 г. вышла в свет публикация А.А. Завалишина о глееобразовании и оглеенных почвах в “Сборнике памяти академика К.А. Глинки” (Изд-во АН СССР). История развития взглядов на глееобразование и псевдооглеение уходит в далекое прошлое почвоведения и классификации гидроморфных почв России и Германии. Высоцкий [2] первый обратил внимание на общие закономерности процесса глееобразования в условиях грунтового переувлажнения. Вместе с тем несколько ранее Н.М. Сибирцев обратил внимание на обширную группу почв, заболоченных поверхностными водами. В те годы они еще не имели четкого классификационного определения и были обозначены народными терминами — “захлести”, “синие глины”, “иловки”. Несколько позднее О. Ggure [19], а затем К. Фогель [25] обратили внимание на специфические гидроморфные лесные почвы Германии, избыточно увлажненные поверхностными водами. Они получили название молькенбоден (Molkenboden — молочные почвы) и характеризовались, по Фогелю, двучленным строением почвенного профиля — рыхлым и осветленным верхним и буровато-сизым плотным нижним горизонтом. Фогель считал молькенбоден самостоятельным типом, отличным от подзолистого. Этот автор пришел к выводу, что в молькенбоден отсутствует вынос R_2O_3 , щелочных и щелочноземельных металлов. Ggure, в отличие от Vogel, полагал, что в процессе формирования молькенбоден происходит их обеднение R_2O_3 . Наконец, Линстов [22] указывал, что в молькенбоден по сравнению с породой остается неизменным содержание глинозема и щелочных металлов, тогда как железо, кальций и магний подвержены активному выносу. Внимание к почвам, заболоченным поверхностными водами, не ослабевало и в дальнейшем. Они были подробно описаны Штремме (цит. по Е. Muckenhausen), объединившим их с почвами грунтового заболачивания под наименованием “минеральные сырые почвы”

(mineralische Nassboden). Позднее G. Krauss в 1928 и он же с соавт. в 1939 гг. выделил почвы, формирующиеся под влиянием грунтовых вод, в тип собственно глеевых, дифференцировав последний на группы по химическому составу и положению грунтовых вод. Он считал, что поверхностно оглеенные почвы принципиально отличаются от почв грунтового заболачивания и заслуживают выделения в самостоятельный тип в связи с резкими отличиями водного режима. G. Krauss назвал их глееподобными почвами (gleyartige Boden) и подразделил на две группы: четко выраженные глееподобные почвы (ausgeprägte Gleyartige) и глееподобные в начальной стадии (beginnend gleyartige Boden) с относительно более благоприятным водным режимом (синоним последних — мраморовидные почвы — marmorierte Boden, описанные впервые W. Laatsch [21]). Краус был одним из первых, кто обратил внимание на необходимость изучения водного режима переувлажненных почв и уделил большое внимание их диагностике по морфологическим признакам. Идеи Краусса в дальнейшем получили развитие в работах ряда почвоведов Германии (Muckenhausen [23] и др.). За рубежом, особенно в странах Западной Европы, где значение поверхностно оглеенных почв в сельскохозяйственном производстве особенно велико, длительно удерживались терминология и систематические построения G. Краусса. Его наименование — глееподобные почвы — до 1953 г. широко использовались многими авторами. Однако позднее для обозначения минеральных поверхностно-оглеенных почв (в отличие от почв грунтового увлажнения — глей) был принят предложенный Кубиеной [20] термин “псевдоглей” (Pseudogley). По существу — это синоним термина Краусса — глееподобные почвы, gleyartige Boden. Новый термин — псевдоглей — получил значительное распространение и был подробно описан Muckenhausen [23]. Он указывал на широкое распространение таких почв. Одна из наиболее характерных особенностей псевдоглея заключается в контрастном водном режиме, сухая и сырая фазы которого сменяются в соответствии со степенью оглеения. В России синонимом термина псевдоглей явилась новая дефиниция — псевдоподзол, введенная в научную литературу Герасимовым и Зонном [5]. Псевдоподзолистые почвы, по Герасимову, “по своим внешним признакам ... очень похожи на настоящие подзолистые почвы, но сильно отличаются от них по характеру генетических процессов. В понятие псевдоподзоливание ... должны входить не только ... процесс лессиважа, или иллиммеризации, но и тот комплекс явлений, который часто называется псевдоглей (поверхностное оглеение)”. Итак, псевдоподзол диагностируют по лессиважу и комплексу явлений, свойственных почвам типа псевдоглей. Что же в таком случае псевдоглей? По определению Мюкенхаузена [23] псевдоглей — это почва, кото-

рая формируется на тяжелых породах или при подстилении легкого наноса тяжелым, с профилем, дифференцированным на водоносную (Stauzone) и водоупорную (Staukörper) зоны. Псевдоглей характеризуется следующими четырьмя признаками: 1 — светлым кислым элювиальным горизонтом; 2 — сегрегацией железа; 3 — мраморовидной окраской иллювиального горизонта; 4 — лессиважем. В настоящее время накоплен значительный материал, который позволяет оценить роль лессиважа в формировании почв со светлыми кислыми элювиальными (то есть подзолистыми) горизонтами. Результаты исследований Роде [12] показали, что в весьма представительной выборке из 40 разрезов дерново-подзолистых почв только в 17% случаях присутствие признаков лессиважа сочеталось с наличием в профиле почв светлых кислых элювиальных подзолистых горизонтов. По нашим данным в 12 разрезах из 16 признаки лессиважа не были установлены вообще. Во всех 16 разрезах присутствовали хорошо выраженные гор. A2 или A2B, которые, очевидно, возникли независимо от лессиважа [9]. Таким образом показано, что оглеенным дерново-подзолистым почвам свойственны и сегрегация железа, и мраморовидная окраска гор. B, и двучленный характер почвенного профиля, и изредка — лессиваж. В этой связи возникает вопрос, в чем же отличие псевдоподзолистых почв от оглеенных подзолистых почв, если все перечисленные диагностические критерии у них тождественны? Зонн [5] полагает, что “Выделение псевдоподзолистых почв необходимо потому, что на тяжелых почвах высокое содержание ила препятствует проявлению подзолистого процесса” (с. 118). Он продолжает “Сибирцев выделял особые почвы без признаков подзолообразования, но с наличием поверхностного оглеения, и назвал их “иловками”, а псевдоглей “выделены Мюкенхаузенем [23] с учетом высказывания Сибирцева (с. 116), то есть иначе псевдоглей не тождественны оглеенным подзолистым почвам”.

Однако такая интерпретация данных не отражает взгляды Сибирцева и не соответствует концепции Мюкенхаузена. В действительности Сибирцев (1898, с. 30) определенно указывал, что “подзолами называют в России не только песчаные, но и более вязкие, суглинистые и глинистые почвы, раз они затронуты процессами выщелачивания”. Сибирцев никогда не считал, что иловки — тяжелые почвы без признаков подзолообразования. Сибирцев (1900) относил к иловкам почвы разного состава, в том числе и легкого. Он писал, что “песчаные и супесчаные или суглинистые подзолы или иловки часто отмечены на пашне сизоватым оттенком верхнего горизонта” (с. 388). Он следующим образом представлял их генезис: “Ввиду того, что нередко подзолистые почвы залегают по местам с застойной влагою (“нажимные места”), их мелкозем (то есть мелкозем подзолистой почвы —

Ф.З.) может обращаться в пливунную вязкую массу. Получаются иловки, иловатые и глееватые почвы” (с. 388–389). Синонимом иловки, таким образом, по Сибирцеву, является глееватая подзолистая почва. Наконец, Мюкенхаузен не противопоставлял псевдоглей оглеенным подзолистым и дерново-подзолистым почвам. Напротив, он достаточно определенно пояснил, каким почвам тождественен псевдоглей в СССР. Он писал в этой связи: “Лаатш [21] назвал эти почвы (псевдоглей — Ф.З.) мраморовидными. Профиль, характерно пятнистый, наблюдали еще и до этого”. Так, Сибирцев говорит о глееобразном подзоле — порусски — иловке: “На Севере Советского Союза псевдоглей помещаются между подзолами, тогда как в центре этой страны псевдоглей связан с дерново-подзолистыми почвами. Таким образом, особенности этой почвы известны уже давно” (с. 22–23). Можно соглашаться или не соглашаться с целесообразностью использования термина псевдоглей, но необходимо иметь в виду, что его синонимом, по Мюкенхаузену, являются оглеенные подзолы или оглеенные дерново-подзолистые почвы.

В заключение этого раздела — несколько дополнительных замечаний к вопросу о возможности существования почв типа псевдоподзол. Как следует из рассмотренных данных, поверхностное избыточное увлажнение и оглеение, относительно однородный состав ила, марганцево-железистые новообразования, двучленный характер профиля и его мраморовидная окраска, то есть все те признаки, которые считают обязательными для псевдоглеев [23] или псевдоподзолов, в равной мере свойственны и оглеенным подзолам на суглинистых и глинистых или на двучленных породах.

Противопоставление лессиважа оподзоливание не согласуется с наблюдаемыми в природе фактами. Точно так же не оправдано противопоставление оглеенных подзолистых почв почвам типа псевдоглей или типа псевдоподзолов. Очевидна искусственность такого подхода при классификации автоморфных и гидроморфных почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами. Следует признать, что подзолистые и подзолистые оглеенные почвы тех регионов России, где они впервые были описаны Докучаевым, несут те же важнейшие признаки, что и почвы с элювиально-иллювиальным профилем и кислой реакцией гор. А2 в других гумидных регионах Земли.

РОЛЬ ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СВЕТЛЫХ КИСЛЫХ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГОРИЗОНТОВ В ПРОФИЛЕ ПОЧВ

Причины образования светлых кислых элювиальных горизонтов, впервые описанных В.В. Докучаевым в 1880 г. [8] в качестве подзолистых, все-

гда вызывали глубокий интерес многих поколений почвоведов. Их внимание к генезису светлых кислых элювиальных горизонтов было вызвано не только их своеобразием, но, прежде всего, широким распространением и исключительной ролью в земледелии и лесном хозяйстве страны. Не случайно поэтому статья В.В. Докучаева “О подзоле” явилась первой научной публикацией в области генетического почвоведения. Причину возникновения подзолов и подзолистых горизонтов В.В. Докучаев видел в периодическом переувлажнении поверхностных горизонтов. Он писал “песчаные и суглинистые подзолы ... суть почвы смешанного болотно-растительного характера ... подзолы образовались при существенном участии болотной и лесной растительности. Здесь, очевидно, было больше влаги, меньше света, а вероятно, и меньше доступа воздуха в почву” (с. 254). Ученики В.В. Докучаева также исходили из того, что светлые кислые элювиальные (то есть подзолистые) горизонты любого гранулометрического состава возникают только в условиях периодического застоя избытка влаги и анаэробнобиоза. Так, в 1888 г. Георгиевский [4] подчеркивал: “Подзол мог образоваться только там, где даны условия для восстановительных процессов” (с. 47). К сожалению, эти продуктивные взгляды В.В. Докучаева и его учеников не получили развития и остаются забытыми. В дальнейшем Вильямс [1], Тюрин и Пономарева [11] связывали образование подзолистых горизонтов с воздействием на минеральный субстрат специфических органических кислот, под влиянием которых происходит кислотный гидролиз алюмосиликатов. Гедройц [3] полагал, что подзолообразование обусловлено разрушающим действием водорода на поглощающий комплекс почв. Принципиально других взглядов на происхождение светлых кислых элювиальных горизонтов придерживались Глинка [6], А.Н. Соколовский (1922) и другие. К.Д. Глинка в учебнике “Почвоведение” писал: “... мы должны еще раз подчеркнуть, что существенную роль в подзолообразовании играют процессы вымывания и вмывания коллоидов, а кислотное разложение — лишь слабый сопутствующий процесс”. В немецкой литературе традиционно существовала дифференциация почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами на две группы — собственно подзолистые почвы на песчаных почвообразующих породах и почвы со светлыми горизонтами на суглинках и глинах. На это обстоятельство в конце XIX в. обратил внимание Сибирцев (1900). В 1934 г. Чернеску [18] предложил дифференцировать почвы со светлыми кислыми элювиальными горизонтами на две самостоятельные генетические группы. Первая объединяет почвы на легких песчаных и супесчаных породах. Вторую группу также со светлыми кислыми элювиальными горизонтами формируют почвы на суглинистых и глинистых

Таблица 1. Три формы кислотного гидролиза и три группы почв, возникающих на кислых, нейтральных или выщелоченных почвообразующих породах в условиях промывного, постоянно застойного и застойно-промывного водного режима

Почвообразовательные процессы — формы кислотного гидролиза		
неоглеенные почвы	оглеенные почвы	
1. Кислотный гидролиз в аэробной среде на фоне промывного водного режима	2. Кислотный гидролиз в анаэробной среде в условиях постоянного оглеения и застойного водного режима	3. Кислотный гидролиз в анаэробно-аэробной среде в условиях пульсирующего оглеения и застойно-промывного водного режима
Почвы не заболоченные: бурые кислые недифференцированные	Почвы интенсивно заболоченные недифференцированные: дерново-глеевые, перегнойно-глеевые, торфянисто-глеевые, торфяно-глеевые	Почвы кислые дифференцированные разной степени оглеения с хорошо выраженными светлыми кислыми элювиальными горизонтами: подзолы, подзолистые, дерново-подзолистые оглеенные

породах. Механизм их формирования обусловлен выносом ила в виде суспензий с током гравитационной влаги. Позднее Ярков [16] в 1961 г. высказал мнение о том, что глееобразование является "пусковым" механизмом процесса подзолообразования. В дальнейшем сложилось представление о том, что светлые кислые элювиальные горизонты являются производными трех почвообразовательных процессов — кислотного гидролиза, лессиважа и глееобразования. Однако это представление не отражает реальный механизм формирования подзолистых горизонтов и почв по следующим причинам. Лессиваж не является обязательным почвообразовательным процессом. В крупных выборках подзолистых почв признаки лессиважа не превышали 17–23% в профилях почв с четко выраженными подзолистыми горизонтами [8, 12]. Поэтому можно утверждать, что светлые кислые элювиальные горизонты, как правило, формируются без участия лессиважа. Кислотный гидролиз следует рассматривать в трех формах [9]: 1 — кислотный гидролиз в аэробной среде на фоне промывного водного режима; 2 — кислотный гидролиз в анаэробной среде при застойном водном режиме; 3 — кислотный гидролиз при застойно-промывном водном режиме на фоне пульсирующих аэробно-анаэробных условий. Эти 3 формы кислотного гидролиза ответственны за образование трех крупных генетических типов почв. Так, следствием кислотного гидролиза в аэробной среде является образование недифференцированных бурых кислых почв (табл. 1). В этой связи следует отметить, что ранее Ярковым [16] было показано, что переход железа из неподвижного трехвалентного состояния в подвижное двухвалентное возможно только в анаэробной среде.

Кислотный гидролиз в условиях застойного водного режима приводит к формированию не-

дифференцированных интенсивно оглеенных и заболоченных почв — дерново-глеевых, торфянисто-глеевых, торфяно-глеевых и других. Наиболее агрессивной является третья форма кислотного гидролиза в пульсирующих аэробно-анаэробных условиях при застойно-промывном водном режиме. В этих условиях резко увеличивается не только концентрация фульвокислот (на порядок), низкомолекулярных органических кислот (в 1.5–3.0 раза), фенолов и полифенолов, аминокислот. При этом существенно возрастает концентрация неорганических восстановителей — водорода, метана, сероводорода, аммиака и других соединений. Нами совместно с Т.А. Соколовой, Р.П. Нароковой и Е.А. Яриловой (1978, 1985) было установлено, что под влиянием глееобразования в условиях застойного водного режима происходит отмывание минеральных зерен мелкозема от гидроокисных пленок железа, слабый вынос железа и марганца, незначительные потери щелочноземельных металлов, не обнаружен вынос алюминия и илистой фракции. При этом увеличивается общая масса ила в результате распада агрегатов, а горизонты профиля приобретают холодную окраску — голубую, синюю, сизо-серую. Происходит восстановление "октаэдрического" окисного железа до двухвалентного состояния, выход его из октаэдрических позиций и, как следствие, деградация кристаллической решетки силикатов. В естественных условиях и на экспериментальных моделях установлено, что при оглеении в условиях застойного водного режима имеют место относительно слабый вынос железа и марганца. Напротив, в условиях застойно-промывного водного режима происходит интенсивный вынос не только железа и марганца, но и кальция, магния, алюминия, происходит накопление кварца и потеря ила. Интенсивное элювиирование металлов в

условиях в условиях застойно-промывного водного режима вызывает глубокое изменение физико-химических свойств почв резко уменьшаются значения рН (на 1.5–2.5 ед.), в 3–4 раза уменьшается степень насыщенности основаниями, на 1–2 порядка возрастает содержание подвижного алюминия, в 2–3 раза увеличивается гидролитическая кислотность. Поверхностные горизонты почв или пород приобретают характерную белесую окраску [9]. Таким образом, в принятой формуле образования подзолистых горизонтов (кислотный гидролиз, лессиваж, глееобразование) первое и третье определения, то есть кислотный гидролиз и глееобразование, синонимы. Все другие формы кислотного гидролиза, кроме гидролиза в условиях застойно-промывного водного режима, приводят к образованию почв с недифференцированным профилем и не формируют светлые кислые элювиальные (то есть подзолистые) горизонты. Вторая составляющая этой формулы — лессиваж — не является почвообразовательным процессом по изложенным выше причинам. Это факультативное явление, признаки которого часто отсутствуют в крупных группах почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами. Следует признать, что из трех рассмотренных форм кислотного воздействия на минеральный субстрат, только процесс глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима на кислых, выщелоченных и нейтральных почвообразующих породах любого гранулометрического состава способен вызывать формирование светлых кислых элювиальных горизонтов, свойства твердой фазы которых тождественны свойствам подзолистых или подзолистых оглеенных горизонтов. Глееобразование в условиях такого гидрологического режима является не только необходимым, но и достаточным условием для формирования светлых кислых элювиальных горизонтов в профиле почв.

ДЕФИНИЦИЯ ПРОЦЕССА ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ

С момента становления научного почвоведения до наших дней многими исследователями систематически обращалось внимание на исключительную важность изучения восстановительных процессов, анаэробнобиоза и глееобразования в формировании светлых кислых элювиальных (то есть подзолистых) горизонтов. Следует признать, что до настоящего времени такая общая концепция оставалась не разработанной в значительной мере из-за того, что не учитывалось влияние разных типов водного режима, при котором происходит глееобразование — определяющего фактора подзолообразовательного процесса. Его воздействие на минеральный субстрат обычно трактуют как влияние глееобразования в условиях застойного водного режима. Вместе с тем, гидрологический

фактор при оценке влияния оглеения на минеральный субстрат имеет своим следствием принципиально различные результаты. Рассмотрим особенности влияния глееобразования на различные породы и процессы почвообразования в условиях застойного и застойно-промывного водного режима. На необходимость такого подхода к оценке роли глееобразования автор впервые обратил внимание в 1974 г. в монографии “Подзоло- и глееобразование”. С момента выхода в свет основополагающей публикации Г.Н. Высоцкого “Глей” прошло более века. Накоплены дополнительные факты, позволяющие глубже понять сущность глееобразования. Опираясь на формулу Г.Н. Высоцкого, в настоящее время можно дать следующее более полное определение этого процесса.

Глееобразование — биогеохимический почвообразовательный процесс, возникающий в анаэробной среде на кислых, нейтральных и выщелоченных породах, не содержащих сульфатов, при участии гетеротрофной микрофлоры и наличии органического вещества, способного к ферментации в условиях постоянного или периодического обводнения отдельных горизонтов или всего профиля. Глееобразование сопровождается формированием холодной окраски горизонтов почвенного профиля, переходом в подвижное состояние и несбалансированным выносом железа и марганца в условиях застойного водного режима, и железа, марганца, алюминия, кальция, магния, калия и других металлов в условиях застойно-промывного водного режима.

ГЛЕЕОБРАЗОВАНИЕ КАК ФАКТОР ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ И ЗАЩИТА ПОЧВ ОТ НЕГО

Различные формы глееобразования, определяемые водным режимом, оказывают различное деградиционное воздействие на минеральный состав почв и почвообразующих пород. Наиболее опасное действие в этом случае оказывает глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима на кислых, нейтральных и выщелоченных почвообразующих породах. В этом случае кислотный гидролиз сопровождается образованием четко выраженных светлых кислых элювиальных горизонтов, обеднением верхних слоев почвенного профиля железом, марганцем, алюминием, кальцием, магнием. Происходит относительное накопление кремнезема, переход в подвижное состояние органических кислот и накопление наиболее агрессивных фракций фульвокислот — I и Ia. Поэтому под влиянием оглеения в условиях застойно-промывного режима происходит глубокая дегградация почв. Глееобразование в условиях застойного водного режима не оказывает столь мощного воздействия на хими-

Таблица 2. Изменение мелиорированных почв разных природных зон под влиянием глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима и общность почвозащитных мероприятий

Природная зона	Почвы	Вид мелиоративного воздействия	Основные изменения	Защитные мероприятия
Лесная	Болотно-подзолотистые, дерново-глеевые кислые, торфяно-глеевые	Дренаж	Увеличение мощности или появление подзолистого горизонта	Известкование; травопольные севообороты, внесение органических и минеральных макро- и микро-удобрений, аэрация, устранение переувлажнения
Степная	Черноземы обыкновенные, южные, каштановые	Орошение (при систематических переполивах)	Осолодение (оподзоливание), формирование кислых (слабокислых) светлых горизонтов	
Тропики	Кислые красноцветные почвы на ферраллитных, ферритных и других корах выветривания	Ирригация в условиях многовековой культуры риса	Возникновение "рисовых" подзолов	

ческие свойства почв, как это имеет место в условиях глееобразования при застойно-промывном водном режиме. В этом случае основные продукты реакций остаются в сфере реакций. Существенных изменений при этом не происходит. Однако в условиях застойного режима обнаружено уменьшение содержания макроагрегатов и накопление илстой фракции в нижних горизонтах.

Таким образом, наиболее опасные ситуации можно ожидать при глееобразовании в условиях застойно-промывного водного режима. Это явление будет сопровождаться не только ухудшением химических и физических свойств почв, но и существенным ухудшением их плодородия. Очень часто основной причиной деградации почв в условиях застойно-промывного водного режима является антропогенный фактор, связанный с изменением их свойств и режимов. Таковыми являются дренаж, орошение напуском по полосам или по чекам. Существенно и то, что состав защитных мероприятий в различных климатических зонах обычно оказывается одинаковым или весьма близким (табл. 2). Так, например, в лесной зоне широко распространены дерново-глеевые, торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы с недифференцированным профилем и отсутствием подзолистых горизонтов. Эти почвы в естественном состоянии находятся в условиях постоянного или длительного обводнения, то есть в условиях застойного водного режима. Однако после ввода в действия дренажа происходит резкое изменение гидрологического режима. Эти почвы весной оказываются интенсивно обводненными, а к началу лета завершается сброс избыточной гравитационной влаги, почва переходит в условия промывного режима и свободного стекания дренажного стока из всех горизонтов почвенного

профиля. Принципиально меняется эволюция почв в условиях нового водного режима. В таких условиях в верхних слоях профиля формируется светлый кислый элювиальный (то есть подзолистый) горизонт. Нижняя иллювиальная часть профиля отличается вторичной мраморовидной окраской. При этом, чем продолжительнее эксплуатация, тем более мощным оказывается подзолистый горизонт и тем более существенны потери плодородия мелиорируемых почв.

Эти условия трансформации мелиорируемых почв и их последующую деградацию можно наблюдать и в степной зоне на орошаемых массивах зерновых культур. Глееобразование в условиях застойно-промывного водного режима здесь возникает в результате систематических переполивов, которые при возделывании зерновых в вегетационный период могут составить от 3 до 5 раз в год. В почвах возникают условия для развития застойно-промывного водного режима, пульсирующего и часто весьма длительного анаэробно-анаэробного режима. При этом происходит резкое подкисление, накопление низкомолекулярных органических кислот, фульвокислот и других соединений кислотной природы. Возрастает роль неорганических и органических восстановителей. Складываются условия, когда глееобразование на фоне застойно-промывного режима определяет формирование почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами в зависимости от наличия или отсутствия натрия в ППК.

Третий пример глубокой деградации почв под влиянием глееобразования на фоне застойно-промывного водного режима рассмотрим на примере влажных тропиков в условиях систематического обводнения почв на однородных ферраллитных корах выветривания на территории Северного Вьетнама. В этих условиях ежегодно местное насе-

Таблица 3. Изменение свойств почв под влиянием глееобразования при застойном и застойно-промывном типах водного режима (по материалам модельных и натуральных исследований)

Свойства почв и процессы	Изменения в результате глееобразования на фоне водного режима (по сравнению с исходной почвообразующей породой)	
	застойного	застойно-промывного
Вынос Fe	Умеренный	Интенсивный
Вынос Al	Не выражен	Интенсивный
Вынос Ca и Mg	Не выражен или слабый	Интенсивный
pH	Без изменений или слабое подщелачивание	Резкое подкисление (на 1–2 ед. pH)
Подвижный Al	Без изменений	Резкое увеличение (на 1–2 порядка)
Гидролитическая кислотность	Без изменений	Резкое увеличение (в 1–2 раза)
Степень насыщенности основаниями	Несущественные изменения	Резкое уменьшение (в 3–4 раза)
Содержание ила (частицы <0.001 мм)	Слабое или заметное увеличение	Лессиваж возможен
Внешняя удельная поверхность	Не выражена	Уменьшение
Сегрегация железа (конкрециеобразование)	Не выражена	Заметная или интенсивная
Цвет горизонта	Сизый, синеватый, голубовато-зеленый, голубоватый	Белесый, ярко-белый, сероватый

ление получает 2–3 урожая риса. Почвы длительно покрыты слоем воды мощностью 10–20 см. Они подвержены длительному анаэробно-биотическому процессу в условиях застойно-промывного водного режима. Почвы после длительной эксплуатации характеризуются четкой дифференциацией профиля по гранулометрическому составу и, как правило, присутствием мощного белесого кислого элювиального горизонта. Впервые такие почвы были описаны в Южном Китае американским исследователем Торпом [Thorp, 1936], который назвал такие почвы “рисовые подзолы”. Эти почвы отличаются практически полной утратой плодородия. Такие деградированные почвы широко представлены в юго-восточной Азии–Китае, Вьетнаме, Бирме, Индии и в ряде других странах этого региона.

Итак, были рассмотрены почвы трех крупных природных зон Земли – лесной, степной и влажных тропиков. Под влиянием одного и того же фактора – глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима, эти почвы, приуроченные к разным по генезису почвообразующим породам, преимущественно нейтральным, кислыми и выщелоченным, приобретают одни и те же морфологические признаки. Они имеют светлые кислые элювиальные горизонты в верхней части почвенного профиля, мраморовидную окраску иллювиального горизонта, сегрегированное железо в виде конкреционных новообразований. Эти признаки позволяют признать, что механизм их фор-

мирования обусловлен глееобразованием в условиях застойно-промывного водного режима. В этом случае существенно то, что при тождественном механизме образования все три рассмотренные группы почв характеризуются резко выраженной агроэкологической индивидуальностью. Вместе с тем, они предполагают применение при рекультивации очень близких (практически, тождественных) необходимых гидротехнических, агроэкологических и агрономических мероприятий, направленных на защиту почв от деградационных изменений, а также на эффективное использование рекультивированных почв в сельскохозяйственном производстве (табл. 3).

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ОГЛЕЕННЫХ ПОЧВ

Полученные данные свидетельствуют о единстве механизма формирования кислых почв со светлыми элювиальными горизонтами и дифференцированным профилем. В этой общей проблеме, однако, кроме генетического существует и второй, агроэкологический аспект. Под экологией почв в рассматриваемом случае понимаются их свойства как среды обитания биоты, и, прежде всего, как среды обитания растений, животных и человека. В этом отношении все перечисленные типы почв, однородные по механизму формирования и свойствам твердой фазы, несомненно, индивидуальны по своим агроэкологическим особенностям. Индивидуальны, очевидны, не только крупные

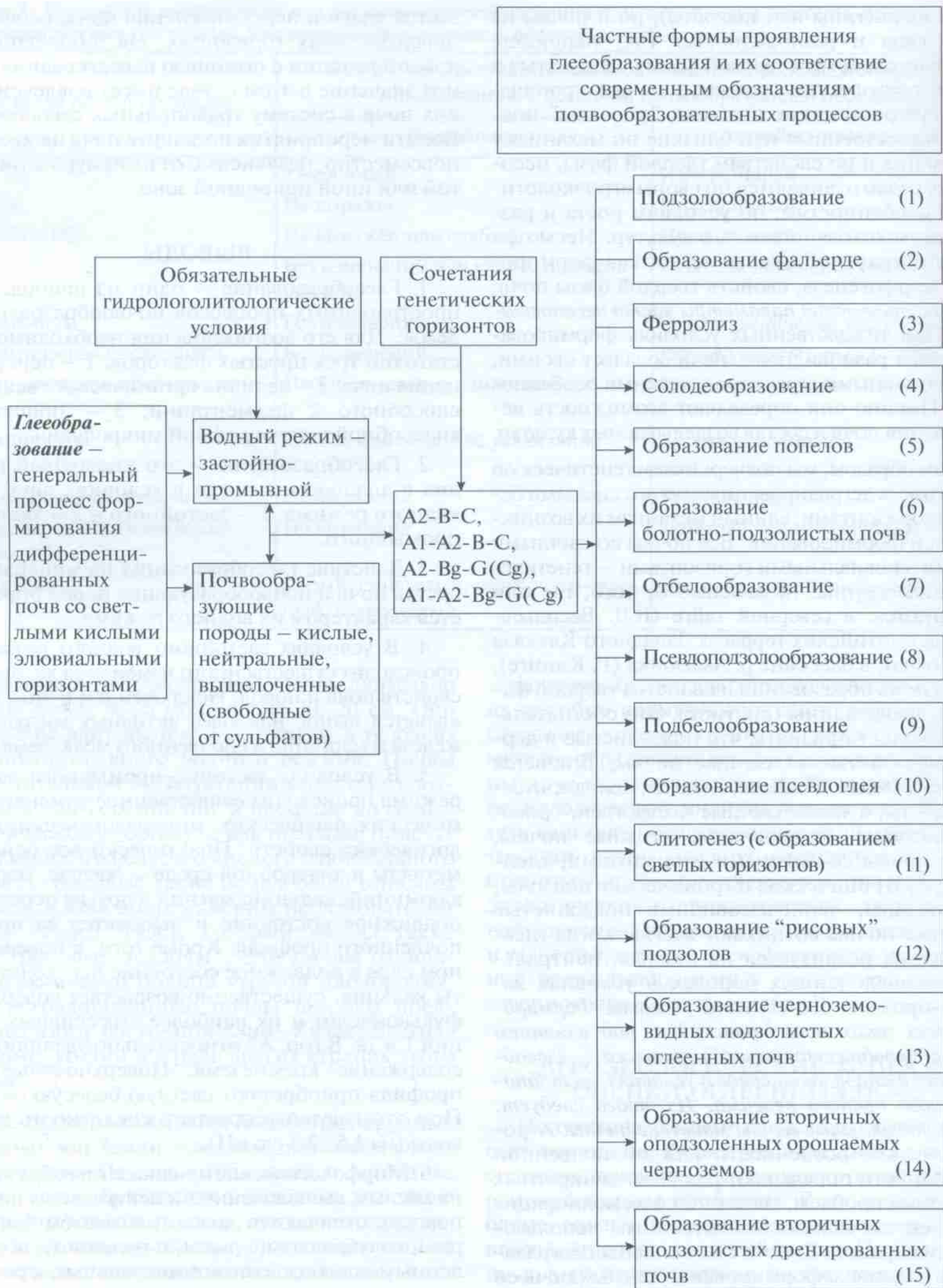
группы почв (типы или подтипы), но и почвы на уровне вида и разновидности. Так, например, близкие по свойствам твердой фазы подзолистые и дерново-подзолистые оглеенные почвы, тропические и субтропические подзолы, "рисовые" подзолы, тождественные или близкие по механизму образования и по свойствам твердой фазы, несомненно, резко отличаются по своим агроэкологическим особенностям, по условиям роста и развития сельскохозяйственных культур. Несмотря на генетическую общность механизма формирования, морфогенеза, свойств твердой фазы почв, *их агроэкологические параметры часто несопоставимы*. При тождественных условиях формирования каждая разновидность почв обладает своими, индивидуальными агроэкологическими особенностями. Именно они определяют возможность использования почв и состав возделываемых культур.

Таким образом, мы подчеркиваем генетическую близость всех деградированных почв с кислыми белесыми горизонтами, единый механизм их возникновения и формирования. Все почвы со светлыми кислыми элювиальными горизонтами — генетически единая группа, независимо от того, где они формируются: в северной тайге (В.Д. Васильевская); на понтийских террасах Западного Кавказа (В.А. Ковда); в бассейне р. Амазонка (Г. Клинге). Механизм их образования и свойства твердой фазы почв всюду едины (рисунок). Это обстоятельство позволяет признать, что подзолистые и дерново-подзолистые оглеенные почвы, Braunerde lessive, Sol lessive, Fahlerde, попелы, солоды, отбелы, подбелы, а также светлые псевдоглеи, "рисовые" подзолы, ферролизные светлые почвы, слитые почвы со светлыми горизонтами, глей-солоды, субтропические и тропические подзолы, псевдоподзолы, черноземовидные подзолистые оглеенные почвы возникают всегда, когда глееобразование реализуется на кислых, нейтральных и выщелоченных породах в условиях застойно-промывного водного режима. *Формирование всех этих почв происходит под влиянием одного почвообразовательного процесса — глееобразования в анаэробной среде в условиях застойно-промывного водного режима. Из этого следует, что все упомянутые почвы моногенетичны*. Агроэкологические особенности каждой почвенной разновидности определяют решение конкретных прикладных проблем, связанных с их мелиорацией, освоением сельскохозяйственным использованием и охраной. Вместе с тем опасный деградационный процесс формирования кислых почв со светлыми кислыми элювиальными горизонтами может быть заторможен или предотвращен с помощью одних и тех же мероприятий, независимо от особенностей рассматриваемых почв. Система необходимых агрономических, агромелиоративных и гидротехнических мероприятий должна быть направлена на устранение периодического

застоя влаги и переувлажнения почв, особенно в поверхностных горизонтах. На ликвидацию их кислой реакции с помощью известкования. Важное значение в этом случае имеет вовлечение таких почв в систему травопольных севооборотов. Все эти мероприятия по защите почв необходимы повсеместно, независимо от их приуроченности к той или иной природной зоне.

ВЫВОДЫ

1. Глееобразование — один из наиболее распространенных процессов почвообразования на Земле. Для его возникновения необходимо и достаточно трех простых факторов: 1 — переувлажнения почв; 2 — наличия органического вещества, способного к ферментации; 3 — присутствия анаэробной гетеротрофной микрофлоры.
2. Глееобразование — это кислотный гидролиз в анаэробной среде в условиях двух типов водного режима: 1 — застойного и 2 — застойно-промывного.
3. Действие глееобразования на минеральный состав почв и почвообразующих пород определяется характером их водного режима.
4. В условиях застойного водного режима не происходит существенного изменения химических свойств почв и пород. Исключением в этом случае является вынос наиболее активных мигрантов — железа и марганца из почвенного мелкозема.
5. В условиях застойно-промывного водного режима происходит существенное изменение химических, физических, минералогических и реологических свойств. Практически все основные металлы в анаэробной среде — железо, марганец, алюминий, кальций, магний и другие переходят в подвижное состояние и выносятся за пределы почвенного профиля. Кроме того, в поверхностном слое в подвижное состояние переходят гуматы кальция, существенно возрастает содержание фульвокислот и их наиболее агрессивных фракций I и Ia. В гор. A2 относительно увеличивается содержание кремнезема. Поверхностные слои профиля приобретают светлую белесую окраску. При этом резко возрастает кислотность почв и воды (на 1.5–2.5 ед. рН).
6. Морфологические признаки глееобразования на кислых, выщелоченных и нейтральных почвах и породах отличаются холодным цветом (сизо-серым, голубоватым, синим, синеватым), обусловленным освобождением минеральных зерен мелкозема от железистых кутан и проявлением собственной окраски минералов.
7. Глееобразование в условиях застойного и застойно-промывного водного режима принципиально отличается прежде всего интенсивностью воздействия на минеральный субстрат. При застойном водном режиме процесс проте-



Частные формы проявления процесса глеобразования при формировании почв на кислых, нейтральных и выщелоченных породах в условиях застойно-промывного водного режима (схема).

кает при близких к нейтральным значениям pH. При застойно-промывном режиме — в условиях кислой реакции среды. При застойно-промывном водном режиме в результате ферментации органического вещества резко (в 2–3 раза) увеличивается содержание низкомолекулярных органических кислот, способных к комплексообразованию. Таких, например, как фумаровая, яблочная, лимонная и другие. В результате ферментации органического вещества увеличивается содержание фенолов и полифенолов, аминокислот, фульвокислот фракций I и Ia. В результате такого мощного воздействия при застойно-промывном режиме возрастает содержание неорганических и органических восстановителей. Все эти процессы усиливают деградиационное воздействие на минеральный субстрат почв и пород.

8. Экспериментальные данные, полученные на физических моделях и в полевых условиях, показали, что только под влиянием глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима формируются почвы со светлыми кислыми элювиальными горизонтами, дифференцированные по гранулометрическому составу и химическим свойствам. Они позволяют признать, что почвы со светлыми кислыми элювиальными горизонтами (то есть подзолистые, дерново-подзолистые оглеенные, солоды, рисовые подзолы и другие) являются производными одного и того же процесса — глееобразования (то есть кислотного гидролиза в анаэробной среде) в условиях застойно-промывного водного режима.

9. Глееобразование (то есть кислотный гидролиз в анаэробной среде) в условиях застойно-промывного режима, в отличие от глееобразования в условиях застойного режима, является мощным фактором дегградации почв. Этот вид глееобразования может проявляться практически во всех природных зонах Земли.

10. Для защиты минеральных почв от деградиационных изменений и их уничтожения предложена система защитных мероприятий, которые следует использовать повсеместно там, где мелиоративные и сельскохозяйственные мероприятия могут вызвать опасные изменения почв под влиянием глееобразования в условиях застойно-промывного водного режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вильямс В.Р.* Почвоведение. Собр. соч. М.: Сельхозгиз, 1949. Т. 1. 447с.
2. *Высоцкий Г.Н.* Глей // Почвоведение. 1905. № 4. С. 291–327.
3. *Гедройц К.К.* Осолодение почв // Тр. Носовской с.-х. опытной станции. 1926. Вып. 44. С. 458–494.
4. *Георгиевский А.* К вопросу о подзоле // Мат-лы по изучению русских почв. 1888. Вып. 4. С. 1–48.
5. *Герасимов И.П., Зонн С.В.* Подзол и глей, лессиве, псевдоглей и псевдоподзол // Почвоведение. 1971. № 8. С. 118–129.
6. *Глинка К.Д.* Почвоведение. М.–Л.: Сельхозгиз, 1932. 598 с.
7. *Докучаев В.В.* Способы образования речных долин Европейской России. (1873) М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. Т. 1. С. 113–255.
8. *Докучаев В.В.* О подзоле // Тр. Вольного эконом. об-ва. 1880. Т. 1. В. 2. С. 142–150.
9. *Зайдельман Ф.Р.* Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты. М.: Изд-во КРАСАНД, 2010. 239 с.
10. *Кауричев И.С., Ноздрунова Е.М.* Общие черты генезиса почв временного избыточного увлажнения // Новое в теории оподзоливания и осолодения почв. М.: Изд-во АН СССР, 1964. С. 46–61.
11. *Пономарева В.В.* Теория подзолообразовательного процесса. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1965. 380 с.
12. *Роде А.А.* К вопросу об оподзоливании и лессиваже // Почвоведение. 1964. № 7. С. 9–23.
13. *Роде А.А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
14. *Сюта Я.* Влияние восстановительных процессов и подкисления на растворимость минеральных соединений почв // Почвоведение. 1962. № 2. С. 62–72.
15. *Хлебникова Е.И.* Процессы осолодения почвогрунтов степной зоны при орошении // Предупреждение и ликвидация заболачивания и засоления орошаемых земель. М., 1989. С. 116–119.
16. *Ярков С.П.* Почвы лесостепной зоны. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 318 с.
17. *Bloomfield C.* Experiments on the mechanism of gley formation // J. Soil Sci. 1951. V. 2. № 2. P. 196–211.
18. *Cernescu N.* Facteurs de climat et zones de sol en Roumanie // Ins. Geol. A. Roumaniei. Techn. Si economice. Ser. C. 1934. № 2. Bucuresti. 70 p.
19. *Grupe O.* Zur Entstehung des Molkenboden // Inter. Mitt. Bodenkundt. 1923. H. 3–4. S. 99–107.
20. *Kubiena W.L.* Bestimmungsbuch und Systematic den Boden Europas. Stuttgart. 1953.
21. *Laatsch W.* Dynamik der Mitteleuropaischen Mineralboden. Dresden–Leipzig, 1957. 280 s.
22. *Linstov O.* Zur Herkunft des Molkenboden // Inter. Mitt. Bodenkunde. 1922. Bd.12. S.173–179.
23. *Muchenhausen E.* Le psoidogley // Sci. du Sol. 1963. Bd. 1. P. 21–29.
24. *Wityn I.I.* Bildungsprozess der Gleyboden // Agronomenkongress in Latwiya. Riga, 1934.
25. *Vogel von Falkenstein K.* Die Molkenboden des Brem und Rheinhardswaldes im Buntsandsteingebiet der Oberweser // Inter. Mitt. Bodenkunde. 1914. Bd. 4. S. 105–134.