



На правах рукописи

ГОЛЬДФАРБ Игорь Леонидович

**ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ПРОЦЕССА
НА ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ
(на примере Камчатки)**

25.00.23.- физическая география и биогеография, география почв
и геохимия ландшафтов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва - 2005

Работа выполнена на кафедре геохимии ландшафтов и географии почв
географического факультета Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Научный руководитель:

доктор географических наук

Солнцева Нина Петровна

Официальные оппоненты:

доктор географических наук, профессор
Таргульян Виктор Оганесович

доктор биологических наук, профессор
Карпачевский Лев Оскарович

Ведущая организация: Почвенный институт им.В.В.Докучаева РАСХН

Защита состоится «14» апреля 2005 года в 15 часов на
заседании диссертационного совета Д 501.001.13 при Московском
государственном университете им. М.В.Ломоносова по адресу: 119992,
ГСП-2, Ленинские Горы, МГУ, географический факультет,
18-й этаж Главного здания, аудитория 1807.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке географического
факультета МГУ на 21-ом этаже.

Автореферат разослан «14» марта 2005 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Горбунова И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Почвы, формирующиеся в условиях современного гидротермального (ГТ) процесса, распространены во всех вулканических областях Земли, но не образуют протяженных массивов. Они развиваются на территориях тысяч ГТ-систем Тихоокеанского вулканического пояса, включая полуостров Камчатку.

На сегодняшний день различные аспекты взаимодействия гидротерм с породами исследованы достаточно широко, однако влияние ГТ-процесса на почвообразование остается практически не изученным. В основных монографиях, посвященных вулканическим почвам Камчатки (Ливеровский, 1959; Зонн, Карпачевский, Стефин, 1963; Соколов, 1973), почвообразование в условиях ГТ-процесса не рассматривается. Отдельные работы почвоведов, наряду с многочисленной геологической литературой, посвящены минералогическому составу ГТ-глин как субстратов почвообразования (Градусов и др., 1975; Васильев, Бабанин и др., 1986; Карпачевский и др., 1989). В то же время, остаются без рассмотрения морфология и основные химические свойства почв ГТ-систем, собственно почвенные признаки и процессы.

Наиболее подробные исследования почв на территориях ГТ-систем проводились в Новой Зеландии и США (Cross, 1963; Wells, Whitton, 1966; Vucetich, Wells, 1978; Rodman et al., 1996; Wilson et al., 1997 и др.). Рассмотрены минералогический и гранулометрический состав почв термальных полей, их температурный режим. Приводятся отдельные данные по макро- и микроэлементному составу почв, некоторые физико-химические показатели, морфологические описания почвенных профилей. Значительная часть исследований носит сугубо прикладной характер: изучаются содержания в почвах элементов-индикаторов ГТ-процесса (Hg, As, Sb и др.), состав и концентрации почвенных газов в целях обнаружения и разведки зон скрытой разгрузки гидротерм и разломов (Phelps, Buseck, 1979, 1980; Varekamp, Buseck, 1983; Hinkle, Botinelly, 1988 и др.). Работы, в которых проводился бы комплексный почвенно-геохимический и генетический анализ влияния ГТ-процесса на почвы и почвообразование в целом, на сегодняшний день отсутствуют.

В то же время, выдвинута гипотеза о возможном ГТ-происхождении существующих ферраллитных почв и кор выветривания, многих карбонатных, кремниевых и солевых аккумуляций, глинистых минералов почв и пород (Разумова, 1977; Соколов, Михайлов, 1992; Соколов, 1992, 1993; и др.). Все это определяет актуальность изучения почв и ландшафтов ГТ-систем для выявления характерных особенностей ГТ-почвообразования, понимания роли ГТ-процесса в формировании педосферы в целом.

Цель работы - изучить влияние ГТ-процесса на почвообразование, - определяет постановку и решение следующих **задач**:

1. Дать характеристику условий формирования и свойств почв ГТ-систем.
2. Выявить закономерности изменений, происходящих в почвах под влиянием ГТ-процесса (с учетом его неоднородности в пределах ГТ-систем).
3. Оценить специфичность почвообразования на территориях ГТ-систем и определить классификационное положение формирующихся здесь почв.

Материалы и методы. В основу работы положены результаты почвенно-геохимических исследований, проведенных автором в 1991, 1992, 1995 и 2002 гг. на территориях ГТ-систем восточной и южной Камчатки (кальдеры вулкана Узон, Долины Гейзеров, Паужетской). За четыре полевых сезона изучено более 40 почвенных разрезов, из них (с учетом основных почвенных разностей) отобрано и проанализировано 156 проб почв. Используются также полевые и аналитические материалы д.г.н. Н.П.Солнцевой - описания более 60 почвенных разрезов и результаты анализов 464 образцов почв и 10 проб воды. Личный вклад автора состоит в выполнении полевых наблюдений и части аналитических работ, систематизации и интерпретации химико-аналитических данных; теоретическом обобщении экспериментальных и литературных материалов.

Работа выполнена на основе методологии почвенно-геохимических исследований, основные положения которых развиты в трудах Б.Б.Полынова, И.П.Герасимова, М.А.Глазовской, А.А.Роде, А.И.Перельмана и др. Для выявления почвенно-геохимической неоднородности территории использовались методы ландшафтно-геохимического профилирования с изучением опорных разрезов и микрокатен. Изучение рядов почвообразования при разной интенсивности и длительности ГТ-воздействия, использование профилно-генетического и сравнительно-географического подходов позволило установить изменения в составе и свойствах почв, вызванные ГТ-процессом, послужило основой для оценки его роли в почвообразовании в пределах ГТ-систем.

Аналитическая обработка материалов проводилась в лабораториях Почвенного института им.В.В.Докучаева, Института географии РАН, Географического факультета МГУ, Пермской станции химизации сельского хозяйства по стандартным методикам. Определялись: минералогический состав илистой фракции почв, содержание и качественный состав гумуса, состав и содержание водорастворимых солей, обменные катионы (H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), pH водных суспензий.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на заседаниях кафедры геохимии ландшафтов и географии почв Географического факультета МГУ в 1993-96 и 2004 гг., отдельные результаты исследований представлены в научных отчетах РФФИ, тезисах докладов на I Международном совещании по геохимии биосферы (Новороссийск, 1994), III Международной конференции по биогеохимии тяжелых металлов (Франция, Париж, 1995), IV Международном симпозиуме по геохимии земной поверхности (Англия, Илкли, 1996). По теме диссертации имеется 7 публикаций (среди них 4 статьи и тезисы докладов).

Научная новизна и теоретическая значимость. Впервые дается комплексная характеристика почв современных ГТ-систем Камчатки: их морфологического строения, минералогического, солевого и ионообменного составов, гумусного состояния и щелочно-кислотных условий. Выявлены закономерности изменений состава и свойств почв в зависимости от интенсивности и длительности ГТ-процесса, его пространственной и химической неоднородности. Проведена морфогенетическая группировка почв ГТ-систем по интенсивности ГТ-воздействия. Обнаружены уникальные для существующих биоклиматических условий химико-минералогические особенности почв, напрямую связанные с влиянием ГТ-процесса. Рассмотрены генетические модели почвообразования на территориях ГТ-

систем и основные почвообразовательные процессы. Показано, что в условиях ГТ-воздействия формируются генетически и субстантивно своеобразные почвы, требующие таксономического обособления. Предложен вариант классификационного разделения почв ГТ-систем в соответствии с принципами новой классификации почв России (Классификация..., 2004). Результаты работы дополняют региональные исследования по почвам Камчатки и вносят вклад в разработку проблемы «педосфера и гидротермальный процесс».

Практическая значимость. Почвы в окрестностях горячих источников являются уникальными природными объектами, требующими тщательного изучения и охраны. Материалы исследований могут быть использованы природоохранными организациями при выборе участков под природные резерваты и подготовке обоснований о необходимости особого статуса таких территорий. Дополнительную значимость работе придает изучение почв Долины Гейзеров и кальдеры Узон, которые могут служить своеобразным эталоном ГТ-почвообразования, поскольку формируются в пределах Кроноцкого заповедника, на территориях, включенных с 1996 г. в список всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

На защиту выносятся следующие **положения**:

1. На территориях современных ГТ-систем Камчатки гидротермальный процесс выступает в роли локального фактора почвообразования. В зависимости от его интенсивности и длительности происходит либо трансформация отдельных свойств вулканических почв, либо формирование новых почвенных тел с особой системой горизонтов.

2. Различное соотношение педогенных, вулканогенно-осадочных и ГТ-процессов на разных участках ГТ-систем приводит к неоднородности почвенного покрова рассматриваемых территорий. Выделяются три основные морфогенетические группы почв: а) на морфологически не измененных (пирокластических) субстратах - за пределами термальных полей; б) на частично измененных («гетерогенных») субстратах - на периферии термальных полей; в) на полностью преобразованных ГТ-субстратах - возле термопроявлений.

3. В условиях ГТ-процесса почвообразование протекает синхронно с процессами глинистого минералообразования. В почвах термальных полей синтезируется большое количество окристаллизованных глинистых минералов (каолинит-сметитовых смешанослойных образований и смектита), что не характерно для вулканических почв холодных гумидных областей.

4. По мере приближения к термопроявлениям меняется гумусное состояние почв: поверхностные грубогумусовые и сухоторфянистые горизонты вулканических почв сменяются дерновыми, уменьшаются запасы органического вещества и происходит упрочнение его связи с минеральной массой почв.

5. Воздействие минерализованных термальных вод, внутрпочвенная конденсация ГТ-пара и аэральный перенос солей от парящих источников приводят к засолению почв ГТ-систем, вызывают трансформацию их поглощающего комплекса и щелочно-кислотных условий. Выявлено исключительно высокое геохимическое разнообразие состава и свойств почв термальных полей на близких расстояниях и их контрастные сочетания в пределах почвенного профиля.

6. Для классификационного выделения почв ГТ-систем необходимо введе-

ние новых таксономических единиц в существующие почвенные классификации. Наиболее специфичные почвы на ГТ-субстратах образуют самостоятельную генетико-субстантивную общность гидротермальных почв (термоземов), соответствующую уровню отдела в классификации почв России. Вводятся новые типы, подтипы и роды почв.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы (168 наименований). Работа содержит 120 страниц текста, 49 рисунков и 21 таблицу. Общий объем работы 175 страниц.

Автор глубоко благодарен своему научному руководителю - д.г.н. **Н.П.Солнцевой** за предоставление материалов, критические замечания и помощь на всех этапах написания и подготовки работы. Ее идеи, требовательность и доброжелательное внимание привили автору интерес к проводившимся исследованиям и глубоко повлияли на его личность. Автор признателен Г.А.Карпову, С.М.Фазлуллину, С.Н.Рычагову, И.Ф.Делемену, Т.Ю.Самковой за большую поддержку в организации полевых исследований на Камчатке, Н.П.Чижиковой, Б.П.Градусову и В.А.Ерошчеву-Шаку за неоднократные консультации, дирекции Кроноцкого заповедника за разрешение работать на особо охраняемой территории, А.Г.Коваленкову за вертолетную заброску в район исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Современные ГТ-системы Камчатки приурочены к вулcano-тектоническим депрессиям и кальдерам, в недрах которых сохраняются остаточные магматические очаги. Идущие от них мощные тепловые и парогазовые потоки обеспечивают нагрев вышележащих пород (туфо-пирокластических толщ с прослоями лав неоген-четвертичного возраста) до 200-300°C и более. Холодные инфильтрационные воды, поступающие в зону такого прогрева, в свою очередь нагреваются и, обогатившись магматическими компонентами (CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S , Cl , B , Nd и др.), выходят на поверхность термальных полей, соответствующих зонам тектонических разломов и трещин в породах фундамента (Белоусов, 1965; Карпов, 1988; Леонов, 1989 и др.).

Разгрузка гидротерм сопровождается процессами газоотделения, конденсации парогазовой смеси, разбавления грунтовыми водами и окисления, что определяет явления приповерхностного метаморфизма растворов. В результате образуются термальные воды весьма различного состава: от минерализованных (2-5 г/л) близнейтральных и слабощелочных хлоридных натриевых до кислых сульфатных и пресных гидрокарбонатных (Аверьев, Сугробова, 1965; Пилипенко, 1974).

На пути миграции термальных растворов происходит интенсивный метаморфизм пород, минерало- и рудообразование (Набоко, 1963, 1980; Главатских, 1974; Карпов, 1988; Озерова, 1990 и др.). При этом исходные почвообразующие породы, представленные слоями голоценовой тефры (преимущественно базальтового и андезито-базальтового состава), изменяются до глин, в которых могут быть заметны реликты пепловых частиц. В минералогическом составе глин

преобладают каолинит и монтмориллонит, к которым примешиваются опал, алу- нит, гематит, гетит, пирит и др. минералы (Набоко и др.,1965; Карпов,1988; Ерощев-Шак.1992; Arocena et al.,1994; Wilson et al.,1997; и др.).

Воздействие гидротерм, вызывающее растворение первичных пирокласти- ческих минералов и вынос вещества, сопровождается увеличением количества пор и пустот в породах (Заварзин, Карпов.1989; Wilson et al.,1997). Это приводит к проседанию поверхности и образованию отрицательных форм мезо- и микрорельефа. Условиям рельефа подчиняется распределение различных форм термопроявлений, метасоматических и рудных формаций, мощность и границы зоны аргиллизации в пределах термальных полей (Ерощев-Шак и др.,1977).

Климат восточной и южной Камчатки холодный и избыточно влажный (2000- 5000 мм осадков в год), что связано с близостью холодных акваторий, интенсив- ной циклонической деятельностью и горным рельефом местности (Любимова,1961; Кондратюк,1974). Малая продолжительность теплого периода приводит к развитию в почвах длительной сезонной мерзлоты, исчезающей только в июле-августе. Тем не менее, непосредственно возле термопроявлений мерзлота отсутствует, а устойчивый снежный покров не формируется (Карпов,1980). Температура субстратов на глубине 1 м варьирует от 20 до 70 °С и более. Вынос тепла приводит к повышению температуры приземных слоев воз- духа в пределах термальных полей на 5-10°С летом и 15-20°С зимой.

Для востока и юга Камчатки обычно выделяют четыре высотных раститель- ных пояса: каменноберезовых лесов с высокотравьем, субальпийских кустарников (стлаников), сухих горных тундр, низкотравных альпийских лугов (Любимова, 1961). Воздействие гидротерм приводит к смещению на одном гипсоме- трическом уровне растительности разных высотных поясов, изменению продол- жительности и сроков фенофаз, появлению термофильных видов - *Ophioglossum thermale*, *Fimbristylis ochotensis*, *Lycopus uniflorus*, *Eleocharis afflata* и др. (Трасс,1963; Плотникова, Трулевич, 1975; Рассохина, Чернягина,1982 и др.). По мере повышения температуры почв наблюдаются закономерные смены расти- тельных ассоциаций, изменение жизненных форм, видового разнообразия и сум- марной биомассы растений. В пределах термальных полей тундрово-кустарничко- вая, каменноберезовая и стланиковая растительность сменяется травянистой, с преобладанием злаково-разнотравных, папоротниковых и осоково-моховых ассо- циаций. В горячих источниках развиваются термофильные водоросли и бактерии. Роль последних в формировании зоны сернокислотного выщелачивания и геохи- мических барьеров исключительно высока (Кальдерные микроорганизмы.1989).

За пределами ГТ-систем в районе исследований формируются слоисто-ох- ристые и слоисто-пепловые вулканические почвы (Соколов,1973). Они рассмат- риваются в работе в качестве эталонов сравнения («фоновых» почв).

Глава 2. ХАРАКТЕРНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

2.1. Морфологические особенности. В пределах ГТ-систем существенно различаются три группы почв (Гольдфарб,1996): 1) на пирокластических субстра- тах (без морфологических признаков ГТ-изменения); 2) на частично преобразо- ванных ГТ-процессом («гетерогенных») субстратах; 3) на полностью преобразо-

ванных (гидротермальных) субстратах. Различная степень ГТ-изменения минеральной массы приводит к различиям в строении профиля и определяет неодинаковую сохранность признаков, характерных для вулканических почв вне ГТ-систем.

Почвы на пирокластических субстратах формируются на территориях ГТ-систем за пределами термальных полей. В профиле почв выделяется 3-5 элементарных профилей, в каждом из которых обнаруживаются гумусово-аккумулятивные (A1) и альфегумусовые (Bh.Bf.Bhf) горизонты; в ряде случаев присутствуют охристые горизонты (Boxp). Элементарные профили отделяются друг от друга, маркирующими горизонтами (МГ) тефры различного гранулометрического (от пепла и песков до крупного вулканического гравия и шлаков) и петрографического составов. Слоистость и полигенетичность почвенных профилей, легкий гранулометрический состав и высокая общая мощность почв (более 180-200 см) являются наиболее общими признаками почвообразования вне зоны термопроявлений. Строение профиля мезоморфных почв может быть представлено обобщенной формулой: $AO/AdA1-\{A1-Bhf/Boxp-Mr\}_n$. В гидроморфных почвах в нижних горизонтах профиля отмечается оглеение; в случае воздействия минерализованных вод могут присутствовать солевые выцветы над уровнем капиллярной каймы.

Почвы на гетерогенных субстратах формируются в зоне слабого или умеренного ГТ-воздействия, на периферии термальных полей. Температура в них увеличивается с глубиной и в нижних горизонтах может достигать 20-50 °С. В профиле почв морфологически четко обособляются две части: неизменная или слабоизменная верхняя - развитая в слоистых пепловых отложениях, и в значительной степени измененная ГТ-процессом нижняя - развитая в глинистых или глинисто-сапролитизированных отложениях.

Строение и основные морфологические свойства горизонтов в верхней части почв аналогичны описанным для почв на пирокластических субстратах, в то же время, признаки внутрипочвенного выветривания выражены в них более ярко и значительно усиливаются с глубиной. В нижней части профиля происходит более глубокое преобразование минеральной массы почв, вплоть до полной переработки исходной тефры. При этом формируются ГТ-метаморфические горизонты более тяжелого (суглинистого или глинистого) гранулометрического состава, происходит оструктурирование почвенной массы и ухудшение водно-физических свойств почв.

В частично метаморфизованных горизонтах (суглинистого состава), наряду с признаками ГТ-метаморфизма, хорошо выражены и альфегумусовые процессы, что позволяет выделять самостоятельные иллювиально-метаморфические горизонты (Вт). Под ними формируются однородные глинистые горизонты практически без признаков почвообразования (Сг). В ряде случаев в метаморфизованной части почв в виде железненных и цементированных прослоев фиксируются «проваренные» маркирующие горизонты тефры (МГт).

Поскольку положение верхней границы зоны глинистого минералообразования неодинаково на разном расстоянии от термопроявлений и меняется с течением времени (Ерошев-Шак.1992), - переработанными до глин могут быть или только нижние горизонты почв или же более значительная часть профиля. Мощ-

ность почв, определяемая положением верхней границы горизонтов *С_т*, варьирует от 60 до 180 см. В том случае, если темпы ГТ-метаморфизма достаточно высоки, строение почвенных профилей упрощается за счет вовлечения в ГТ-переработку вышележащих почвенных горизонтов. В то же время, при затухании ГТ-активности профиль почв постепенно усложняется за счет периодических пеплопадов и в верхней части будет развиваться по типу обычных вулканических почв.

Принципиальное строение профиля мезоморфных почв характеризуется формулой: Ад/АОА1-{А1-Вfh/Вохр-МГ}п-(Вм)-Ст. В почвах, контактирующих с термальными водами, отмечается оглеение: АО-{А1-Вfh(g)-МГg}_n-Сmg-Gm. Степень ГТ-проработки профиля гидроморфных почв может быть ниже, чем в мезоморфных почвах на пропаренных участках термальных полей, поскольку последние формируются под воздействием поровых растворов с более высокой минерализацией и кислотностью, чем свободно циркулирующие термальные воды (Набоко, 1968, Ерощев-Шак. 1992, и др.).

Почвы на гидротермальных субстратах формируются в пределах термальных полей в зоне наиболее интенсивного ГТ-воздействия: на небольших прогретых буграх, в нижних частях склонов и на поверхности площадок с термопроявлениями, под травянистой или моховой растительностью. Сюда относятся как наиболее молодые почвы, сравнительно недавно начавшие развиваться на ГТ-измененных субстратах при понижении их температуры, так и почвы, претерпевшие сложную эволюцию с практически полным стиранием признаков предшествовавшего почвообразования и аккумуляции пеплов. В профиле почв, в силу их относительной молодости и/или высокого темпа ГТ-метаморфизма отсутствует интенсивная слоистость, связанная с пеплопадами, а также не фиксируются погребенные горизонты. Собственно почвенные признаки (гумусонакопление, дифференциация на генетические горизонты, выраженность альфегумусовых процессов и др.) ослабевают с глубиной, сменяясь признаками ГТ-метаморфизма (сапролитизация тефры, утяжеление гранулометрического состава, повышение внутрипочвенных температур и др.). Различное соотношение интенсивностей гидротермальных и педогенных процессов на разных участках термальных полей определяет неодинаковую степень развитости и строение почвенных профилей.

Почвы с полноразвитым профилем характеризуются следующим набором основных генетических горизонтов: Ад-А1-Вfh-Вм-С_т; их мощность варьирует от 50 до 100 см. Повышение температур в корнеобитаемом слое (до 20-30 °С) приводит к интенсификации биологических процессов и увеличению количества поступающей в почву биомассы. В этих условиях на относительно сухих участках термальных полей, под густой злаково-разнотравной растительностью формируются горизонты дернины (Ад), переходящие в оструктуренные гумусово-аккумулятивные горизонты (А1). Ниже по профилю развиваются альфегумусовые горизонты (Вfh) с большим количеством темно-серых и охристых пятен и полос, ярко выраженными гумусовыми затеками и комковато-ореховатой структурой. Наиболее специфичными являются срединные горизонты профиля (В_т), в которых примерно в равной степени сочетаются признаки педогенных (альфегумусовых) и литогенных (ГТ-метаморфизм) процессов. Под ними формируются глинистые горизонты почвообразующих пород (С_м), иногда с прослоями сапролитизирован-

ного вулканического гравия и лапилли.

Глинистые горизонты различаются по цвету, минералогическому составу и характеру новообразований. В распределении их в почвенном профиле прослеживается определенная закономерность: горизонты красных (охристых или вишневых) глин располагаются над горизонтами белых или синих (сизых) глин, что связано с изменением форм и содержаний железа в почвах (Пампура, 1985; Карпачевский и др., 1989). Показано, что в почвах на пропаренных участках, в восстановительной сероводородной обстановке формируются горизонты синих глин с пиритом (Cmsu), которые, несмотря на морфологическое сходство, не являются глеевыми в принятом в почвоведении смысле, поскольку в них отсутствует переувлажнение и обезжелезнение, а минеральная масса горизонтов сохраняет свою окраску на воздухе.

Почвы с укороченным профилем (O1/Ад-A1-Вт-Ст) формируются в нижних частях склонов и на поверхности термальных площадок, под разреженной злаково-разнотравной, папоротниковой или моховой растительностью. Уменьшение количества поступающих в почвы органических остатков и ускорение (в более агрессивных температурных и щелочно-кислотных условиях) их минерализации не способствует интенсивному гумусоаккумуляции и иллювиально-гумусовым процессам. В результате, гумусовый профиль данных почв укорочен; самостоятельные альфегумусовые горизонты не формируются. Мощность почв варьирует от 20 до 40 см.

Почвы с примитивным профилем (O1/АдA1-Ст) чаще являются вновь сформированными, развивающимися на ГТ-породах, первоначально непригодных для почвообразования. Они формируются как в пределах активных термальных площадок на границе зоны существования растительного покрова (в интервале температур 50-70°C), так и на остывающих или уже остывших участках термальных полей после поселения на них растительности. Относительно высокие температуры и/или очень кислая реакция субстратов позволяют развиваться только моховой, лишайниковой или скудной травянистой растительности, дающей небольшую органическую массу. В результате, на поверхности почв формируются маломощные органогенные горизонты, сменяющиеся горизонтами ГТ-глин без признаков почвообразования. Самостоятельные гумусово-аккумулятивные горизонты (A1) в профиле таких почв отсутствуют или имеют мощность менее 5 см. Общая мощность почв не превышает 10-15 см.

В пределах термальных полей строение конкретных почвенных профилей варьирует в соответствии с изменением температуры и влажности субстратов. В условиях избыточного поверхностного или грунтового увлажнения почвы отличаются выраженным оглеением. Основные варианты профилей полугидроморфных и гидроморфных почв: АТ/Ад-A1(g)-Bh(g)-Bm(g)-Cm(g)-Gm; АО/АдA1-A1(g)-Gm; АОA1-Cmg(s)-Gm.

2.2. Минералогический состав илистых профилей основных групп почв ГТ-систем существенно различен (табл.1).

Илистая фракция почв *на пирокластических субстратах* по составу и содержанию основных компонентов сходна с охристыми вулканическими почвами (Соколов, 1973). Преобладают рентгеноаморфные компоненты (органоминераль-

Таблица 1

Минералогический состав илистой фракции почв гидротермальных систем*

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Ил, % (вес.)	Рентгеноаморфные компоненты	Основные минеральные фазы						
					Плагноклазы	Кристаллит	Кварц	Метакаллазит	Смешанослойные образования		Смектит
									каолинит-смектит	смектит-каолинит	
Почвы на пирокластических субстратах											
У-10 /02	АдА1	0-6	5,9	+++	++	++	+	-	-	++	-
	[Вохр]	127-165	13,5	++++	?	?	?	-	-	-	-
У-1 /02	АдА1	2-10	5,4	+++	++	++	+	-	-	++	-
	[Вохр]	102-125	28,5	++++	?	?	?	-	-	-	-
Почвы на гетерогенных субстратах											
У-12/02	АдА1	2-7	13,4	+++	+	+	?	?	+	-	-
	А1Вh	7-24	25,6	+++	+	+	?	+	+	-	-
	Bhf	24-39	17,0	++++	-	-	-	+	?	-	-
	МГ	39-52	19,2	++	?	-	?	?	+	++	-
	[Bhf]m	52-67	20,3	++	?	-	?	?	+	+++	-
	Cm1	67-97	56,1	+	-	-	-	-	++++	-	-
	Cm2	97-160	33,3	+	-	-	-	-	++++	-	-
Почвы на гидротермальных субстратах											
ПВ-3	АдА1	0-5	55,1	+	-	-	-	-	+	-	++++
	А1Вhf	13-24	57,5	+	-	-	-	-	+	-	++++
	Bhf	24-40	55,5	+	-	-	-	-	+	-	++++
	Bm	40-49	57,0	+	-	-	-	-	+	-	++++
	Cm1	49-65	94,9	+	-	-	-	-	-	++++	-
	Cm2su	65-75	75,1	+	-	-	-	-	?	-	++++

* Условными знаками показано приблизительное содержание рентгеноаморфных компонентов и минеральных фаз в образце: ИМ преобладает; +++ много; ++ средне; + мало; ? мало или отсутствует; - отсутствует.

ные соединения Fe и Al) в сочетании с небольшим количеством первичных минералов тефры. Количество окристаллизованных глинистых минералов незначительно. Они представлены смешанослойными образованиями, предположительно входившими в состав исходной тефры или же сформировавшимися в результате трансформации унаследованных слоистых силикатов.

Илистый профиль почв на гетерогенных субстратах отличается контрастностью и полигенетичностью состава. В верхней части почв преобладают аморфные соединения и первичные пирокластические минералы (как и в почвах за пределами термальных полей), в нижней - окристаллизованные глинистые минералы, представленные смешанослойными образованиями. Формирование глинистых минералов происходит путем синтеза из растворов и может быть синхронным современному почвообразованию. Это отличает данные почвы от большинства почв холодных гумидных областей, в составе илистого вещества которых преобладают унаследованные глинистые минералы и их производные (Градусов, Соколов, 1978; Градусов, 1980).

При длительном развитии почв в условиях интенсивного ГТ-воздействия в пределах почвенного профиля не остается ни одного горизонта, минералогический состав которого коренным образом ни отличался бы от состава исходной тефры. Новообразованные компоненты в илистой фракции почв на ГТ-субстратах преобладают. Они представлены индивидуальными и хорошо окристаллизованными глинистыми минералами (смектитом), а не типично нестабильными или

метастабильными образованиями (рентгеноаморфными соединениями и смешаннослойными минералами), как в почвах двух предыдущих групп. Количество аморфных компонентов в составе ила резко сокращается, а первичные пирокластические минералы полностью отсутствуют. Глинистые минералы формируются синхронно современному почвообразованию или же наследуются почвенным профилем после ослабления ГТ-активности.

Таким образом, под влиянием ГТ-процесса в минералогическом составе почв: 1) меняется как соотношение между количеством первичных и вторичных минералов, так и состав новообразованных продуктов выветривания; 2) резко увеличивается количество окристаллизованных глинистых минералов и общее содержание илистой фракции; 3) илестый профиль почв по мере увеличения интенсивности и длительности ГТ-процесса становится более однородным; в составе ила возрастает доля более стабильных минералов.

2.3. Гумусное состояние. На основе характера гумусового профиля в пределах ГТ-систем выделяется три группы почв, в целом соответствующие трем выше рассмотренным морфогенетическим группам.

Почвы с полимодальным распределением гумуса формируются на пирокластических субстратах за пределами термальных полей и характеризуются мощным гумусовым профилем (>100 см), преимущественно высоким (6-10%) или очень высоким (>10%) содержанием гумуса в горизонтах А1. По характеру гумусовой кривой в пределах почвенной толщи четко выделяется несколько погребенных элементарных профилей, в каждом из которых наибольшее содержание гумуса обычно приурочено к погребенным гумусовым (3-8%), а наименьшее (0,2-1,5%) - к маркирующим горизонтам тефры. В отдельных случаях содержание гумуса в погребенных горизонтах [А1], [Вох], [Вfh] может быть даже выше, чем в современных органогенных горизонтах, что связывается с альфегумусовым процессом, эпигенетической гумификацией растительных остатков, обилием свободных полуторных оксидов и др. причинами (Соколов, 1973; Глазовская, 1998). Гумус имеет фульватный состав с преобладанием ФК фракций 1 и 1а.

Почвы с резко убывающим распределением гумуса формируются в пределах термальных полей преимущественно на ГТ-субстратах. В условиях повышенных температур минерализация органических веществ ускорена. В результате, преобладают почвы с маломощным гумусовым профилем (10-50 см), основные запасы гумуса в которых сосредоточены в верхних горизонтах (АО, Ад, А1 и др.). Максимальное содержание гумуса варьирует от 1 до 9 % и более в зависимости от типа растительных ассоциаций и температуры субстратов. Ниже по профилю, в горизонтах ГТ-глин содержание гумуса сокращается до долей %. Характерен фульватный гумус, при этом в качественном составе, по сравнению с почвами на пирокластических субстратах, происходит увеличение доли «прочносвязанных» ГК и ФК (3-ей фракции) и негидролизуемого остатка, уменьшение глубины гумификации.

Почвы со сглаженным полимодальным распределением гумуса формируются на участках с ослабленной интенсивностью ГТ-процесса (преимущественно на гетерогенных субстратах на периферии термальных полей) и обладают сочетанием свойств, характерных для каждой из рассмотренных выше групп почв и имеющих переходный характер.

2.4. Солевой состав. Поступление солей в почвы ГТ-систем происходит в результате: 1) прямого воздействия минерализованных термальных вод; 2) внутрисочвенной конденсации ГТ-пара, отделившегося от исходного потока гидротерм на глубине и мигрирующего к поверхности; 3) выпадения солей из атмосферы вследствие интенсивного парения горячих источников и фумарол, скважин и сепараторов пара на разбуренных участках термальных полей. Рассмотрены основные варианты солевых профилей, особенности радиальной и латеральной миграции солей. Установлено, что среди почв со сходным морфогенетическим обликом на близких расстояниях встречаются как интенсивно засоленные, так и незасоленные разности: концентрации солей варьируют от сотых долей до целых процентов. Засоление отмечается в одном или нескольких горизонтах в верхней, средней или нижней частях почв, что позволяет выделять солончаковый, солончаковатый и глубокосолончаковатый типы солевых профилей. Преобладающий состав солей - сульфатный, хлоридный, реже смешанный.

Почвы, контактирующие с минерализованными термальными водами, характеризуются наибольшим содержанием солей в нижней части профиля (2,0-7,7%). Глубина горизонтов максимального соленакопления определяется положением уровня капиллярной каймы. Состав солей в большинстве случаев соответствует химическому составу самих воздействующих вод. В то же время, описаны случаи несоответствия солевого состава почв составу вод, вскрывающихся в почвенном профиле, что связано с приповерхностным метаморфизмом растворов (Пилипенко, 1974). В катионном составе водных вытяжек в больших количествах присутствуют ионы Fe^{3+} и Al^{3+} , а также Mn^{2+} , характерные для целого ряда сульфатнокислых почв (Красильников, Шоба, 1997; и др.).

Почвы на пропаренных ГТ-субстратах содержат меньшее количество солей (до 2%). Глубина горизонтов соленакопления зависит от уровня конденсации ГТ-пара и контролируется температурным фактором: понижение внутрисочвенных температур приводит к заглублению горизонтов солевых аккумуляций, тогда как в наиболее прогретых почвах интенсивного соленакопления вообще не происходит, так как соли выносятся с паром за пределы почвенных профилей, в атмосферу.

Почвы в зонах аэриального выпадения солей могут содержать до 1% солей в поверхностных горизонтах. Поступление солей контролируется преобладающим направлением и дальностью переноса пара, особенностями рельефа, и отмечается и за пределами термальных полей. В почвах на пирокластических субстратах гранулометрическая неоднородность профиля способствует появлению вторичных солевых максимумов в погребенных гумусовых горизонтах, формирующихся под крупношлаковыми маркирующими горизонтами тефры.

Прослеживается дифференциация состава солей по степени растворимости, в соответствии с направлением миграции солесодержащих растворов: нисходящим - при аэриальном поступлении солей, восходящим - при поступлении с термальными водами и ГТ-паром, а также с учетом латерального перераспределения.

2.5. Поглощающий комплекс почв. Под влиянием ГТ-процесса в значительной степени меняются величина поглотительной способности почв, абсолютные и относительные содержания поглощенных катионов, характер их профильного распределения.

Рассмотрены почвы с низкой (<10 мг-экв/100 г), средней (10-30 мг-экв/100 г) и высокой (30-60 и более мг-экв/100 г) поглотительной способностью, формирующиеся на разных участках ГТ-систем. Установлено, что в почвах термальных полей происходит резкое увеличение суммы поглощенных катионов (в 5-10 раз по сравнению с фоном) в результате формирования горизонтов ГТ-глин и повышения минерализации воздействующих растворов. В то же время, длительное воздействие горячих и кислых растворов приводит к каолинизации субстратов и сопровождается снижением емкости ППК.

Изменение химического состава растворов приводит к изменению степени насыщенности ППК основаниями. Нижние горизонты почв, формирующихся в сфере действия кислых сульфатных растворов (с Al^{3+} , Fe^{3+} и H^+), имеют исключительно низкую насыщенность (10-30%), тогда как аналогичные горизонты почв, находящихся под воздействием слабокислых и нейтральных вод с высокой долей Ca^{2+} и Mg^{2+} в составе катионов, характеризуются высокой насыщенностью ($>90\%$). Характер распределения насыщенности в вертикальном профиле почв определяется совместным действием биогенных (количество и тип гумуса, зольность растительных остатков) и литогенных (состав растворов, тип субстратов) факторов. Различное соотношение этих факторов на разных участках ГТ-систем вызывает изменения степени насыщенности ППК в широких пределах. Рассматриваются почвы: 1) ненасыщенные по всему профилю, 2) насыщенные по всему профилю, 3) частично ненасыщенные (с ненасыщенностью отдельных горизонтов).

Высокие содержания натрия в составе водорастворимых солей вызывают активное внедрение этого катиона в ППК, где он остается и после рассоления почв. В результате, в пределах ГТ-систем формируется самостоятельная группа «химически осолонцованных» почв, содержания обменного Na^+ в отдельных горизонтах которых в несколько раз превышают максимальные содержания в фоновых вулканических почвах и могут достигать 50-70% от суммы катионов.

Установлено, что высокие содержания обменного Na^+ в почвах ГТ-систем в большинстве случаев приурочены к горизонтам с повышенной влагоемкостью, где существует возможность длительного взаимодействия минерализованных растворов с почвенной массой. Прямое соответствие между количеством обменного и водорастворимого натрия в почвах отсутствует: при высоких содержаниях катиона в водных вытяжках могут отмечаться его низкие уровни в ППК, и наоборот. Это объясняется быстрым вымыванием солей из почв, пульсирующим характером засоления, а также различием характерных времен изменения состава ППК и почвенных растворов. Общая картина распределения обменного натрия в почвах носит сложный характер и определяется в первую очередь литогенными факторами: динамикой водно-солевого режима почв, литологической слоистостью профиля, различиями во влагоемкости горизонтов.

Множественность и сложное переплетение различных педогенных и литогенных процессов приводит к совмещению в одних и тех же почвенных телах (или близко расположенных почвах) признаков, характерных для почв разных природных зон. Так, повышенная химическая солонцеватость может отмечаться одновременно с высокой ненасыщенностью, благодаря чему в почвах как бы сочетаются признаки гумидного и аридного почвообразования. Почвы с различным каче-

ственным составом ППК оказываются пространственно совмещенными в пределах одной территории, что довольно редко встречается в природных условиях.

2.6. Щелочно-кислотные условия. Под воздействием термальных растворов в почвах ГТ-систем возникают как сравнительно небольшие сдвиги pH (на 0,5-1,5 единицы относительно фона), так и достаточно глубокие преобразования (на 2-3 и более единиц). При этом реакция почв может быть как более кислой, так и более щелочной по сравнению с почвами за пределами ГТ-систем, а значения pH почвенных суспензий меняются в широком диапазоне - от 2,6 до 7,5.

Выделяется несколько основных типов радиальных профилей pH: а) с увеличением кислотности вниз по почвенному профилю; б) с уменьшением кислотности; в) с двумя максимумами кислотности (в верхних и нижних горизонтах почв). Тип профиля pH во многом соответствует изменению степени насыщенности ППК с глубиной.

Почвы с ненасыщенным ППК характеризуются кислой и сильнокислой реакцией (с уменьшением значений pH с глубиной). Реакция почв с насыщенным ППК варьирует в слабокислом диапазоне. Наиболее широкий разброс значений pH (и наибольшая контрастность щелочно-кислотных условий в профиле) отмечается в почвах с частично ненасыщенным ППК. В химически осолонцованных почвах присутствие больших количеств обменного Na^+ может не вызывать заметных сдвигов pH в сторону большей щелочности, что определяется высокой буферностью почв в кислом диапазоне и может быть связано с ионообменными процессами (Солнцева, 1998).

В почвах ГТ-систем обнаруживаются диссонансные сочетания между составом ППК и кислотностью среды: насыщенность и высокая химическая солонцеватость могут отмечаться одновременно с кислой и сильнокислой реакцией почвенных суспензий, что обычно не встречается в природных почвах.

Глава 3. СПЕЦИФИКА ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИОННАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ПОЧВ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Для выявления специфики почвообразования под влиянием ГТ-процесса необходимо сопоставление свойств почв, формирующихся на территориях ГТ-систем, с аналогичными свойствами почв, развитых за их пределами. В существующих зарубежных работах (Wells, Whitton, 1966; Rodman et al., 1996; и др.) такой анализ отсутствует или же носит фрагментарный характер, затрагивая только отдельные признаки почв, без рассмотрения всей совокупности происходящих изменений. В большинстве случаев рассматриваются только почвы в непосредственной близости от термопроявлений, тогда как ГТ-процесс затрагивает также и почвы на периферии и за пределами термальных полей. Сравнение состава и свойств почв в условиях разной интенсивности ГТ-процесса (изучение «факторных» рядов почвообразования) позволяет оценить его роль в педогенезе на территориях ГТ-систем, определить степень генетического своеобразия почв и установить их классификационное положение.

Отдельные попытки классифицировать почвы вблизи термопроявлений предпринимались в Новой Зеландии и США. В новозеландской почвенной классификации (Hewitt, 1992) в порядке *Recent Soils* (современные, молодые почвы)

выделяется группа *Hydrothermal Recent Soils* (молодые гидротермальные почвы). Входящие в нее почвы определяются как «имеющие на глубине 30 см среднегодовые температуры, превышающие по меньшей мере на 2,5 °C среднегодовую температуру воздуха, или же имеющие на глубине до 60 см $pH < 4,8$ ». Почвы термальных полей Йеллоустонского национального парка (США) классифицируются в соответствии с *Keys to Soil Taxonomy* (1998) как слаборазвитые энтисоли и инсептисоли (Rodman et al., 1996). Новые таксономические единицы, которые бы отражали специфику почв на достаточно высоком таксономическом уровне, не вводятся. Вопросы определения генетического и классификационного положения почв ГТ-систем (в т.ч. и вопросы их внутреннего подразделения) во многом остаются открытыми. Решение их возможно с использованием неодокучаевской формулы почвоведения: «факторы - процессы - свойства» (Герасимов, 1973, 1975).

3.1. Генетические модели почвообразования. Почвообразование на территориях современных ГТ-систем Камчатки протекает одновременно с процессами литогенеза, носящими как общий региональный (периодические пеплопады), так и специфический локальный (гидротермальный процесс) характер. Данные литогенные процессы имеют противоположную направленность: выпадение пеплов определяет поступление на поверхность почв свежего минерального материала и наращивание почвенного профиля «вверх», тогда как ГТ-процесс приводит к переработке выпавшей тефры и поступлению веществ «снизу». В результате, на территориях ГТ-систем, в соответствии с терминологией В.О.Таргульяна (1983), должен выделяться твердофазно-аккумулятивно-базальный тренд педолитогенеза, при котором кроме «верхнего» фронта действия факторов внешней среды на почвы, существует также и «нижний», «базальный» фронт факторов.

Неодинаковое сочетание литогенных и педогенных процессов определяет основные морфогенетические различия почв на разном удалении от термопроявлений. В наиболее общем случае морфогенетический облик почв ГТ-систем (S) зависит от интенсивности педогенных (p), вулканогенно-осадочных (v) и гидротермальных (h) процессов, что схематически может быть представлено в виде функции: $S = f(p, v, h)$. В соответствии с различным соотношением интенсивностей процессов выделяются три основные модели педолитогенеза:

1) За пределами термальных полей ГТ-процесс практически не выражен или выражен очень слабо ($h \rightarrow 0$), тогда как выпадение пеплов приводит к периодическому прерыванию почвообразования ($v \geq p$). В этих условиях в толще слоистых вулканокластических отложений формируются почвы без морфологических признаков ГТ-изменения. В то же время, по своим химическим свойствам такие почвы могут отличаться от фоновых аналогов, развитых за пределами ГТ-систем.

2) На периферии термальных полей, а также на участках с угасающей ГТ-активностью выпадающая на поверхность почв тефра не успевает перерабатываться ГТ-процессом ($h < v$). В этих условиях почвы развиваются на частично измененных, гетерогенных субстратах: неизмененные отложения вверх профиля, ГТ-измененные - внизу.

3) При высокой интенсивности ГТ-процесса ($h \geq v$) вся выпадающая пирокластика в различной степени перерабатывается. Почвы формируются на изменен-

ных по всему профилю ГТ-субстратах. Морфогенетический облик почв определяется соотношением интенсивностей гидротермальных и педогенных процессов: а) при $h < p$ - формируются почвы с развитым профилем и полным набором генетических горизонтов; иногда в них прослеживается остаточная слоистость; б) при $h \approx p$ - укороченные и примитивные варианты почв; в) при $h > p$ - лишенные признаков почвообразования ГТ-субстраты.

Таким образом, в зависимости от интенсивности ГТ-процесса происходит либо частичная модификация, либо полное преобразование (в пределе - «стирание») основных почвенных признаков и литологической слоистости тефры.

Реальная картина почвообразования на термальных полях еще более осложняется за счет изменения интенсивности ГТ-процесса во времени. Участки, на которых происходит активизация процессов ГТ-метаморфизма, соседствуют с участками с угасающей термальной активностью. Вследствие этого выделяется два противоположных направления эволюции почв: 1) упрощение морфогенетического строения почв по мере усиления ГТ-проработки (регрессивная эволюция); 2) усложнение строения почв при постепенном затухании ГТ-метаморфизма (собственно эволюция). В обоих случаях последовательные стадии развития почв образуют единый морфогенетический ряд, почвы которого при одинаковой интенсивности ГТ-воздействия могут иметь сходный облик и свойства, но будут эволюционировать в разных направлениях.

3.2. Основные почвообразовательные процессы. Рассматриваются как собственно почвенные процессы (дерновый, сухое торфонакопление и др.), так и литогенные (погребение пеплами, синтез кристаллических глинистых минералов и др.), выступающие по результатам действия на почву в качестве почвообразовательных. Отнесение целого ряда процессов в почвах ГТ-систем (таких как разрушение первичных минералов, минерализация органических веществ и др.) к группе только «педогенных» или только «литогенных» затруднительно, т.к. они определяются совместным действием тех и других факторов.

Погребение почв пеплами происходит на близких расстояниях примерно с одинаковой периодичностью и интенсивностью, однако выражено в почвенном покрове ГТ-систем в различной степени, поскольку сохранность пеплов уменьшается по мере приближения к термопроявлениям (рис.1 а). При этом сокращается (вплоть до полного исчезновения) количество погребенных профилей и общая мощность почв.

Прогревание приводит к формированию в почвах специфического температурного режима и отсутствует за пределами ГТ-систем. По мере приближения к термопроявлениям выделяются три типа температурных профилей почв (рис.1 б): 1) холодные по всему профилю, 2) холодные сверху - теплые внизу, 3) теплые - горячие. Следствия прогревания - уменьшение запасов гумуса и изменение гумусового профиля почв (рис. 1в).

Засоление специфично для почв ГТ-систем. В то же время, признаки засоления на рассматриваемых территориях прослеживаются далеко не повсеместно. Распределение солей в почвах носит сложный характер: прямое соответствие состава и содержания водорастворимых солей интенсивности ГТ-процесса отсутствует (рис.1 г).

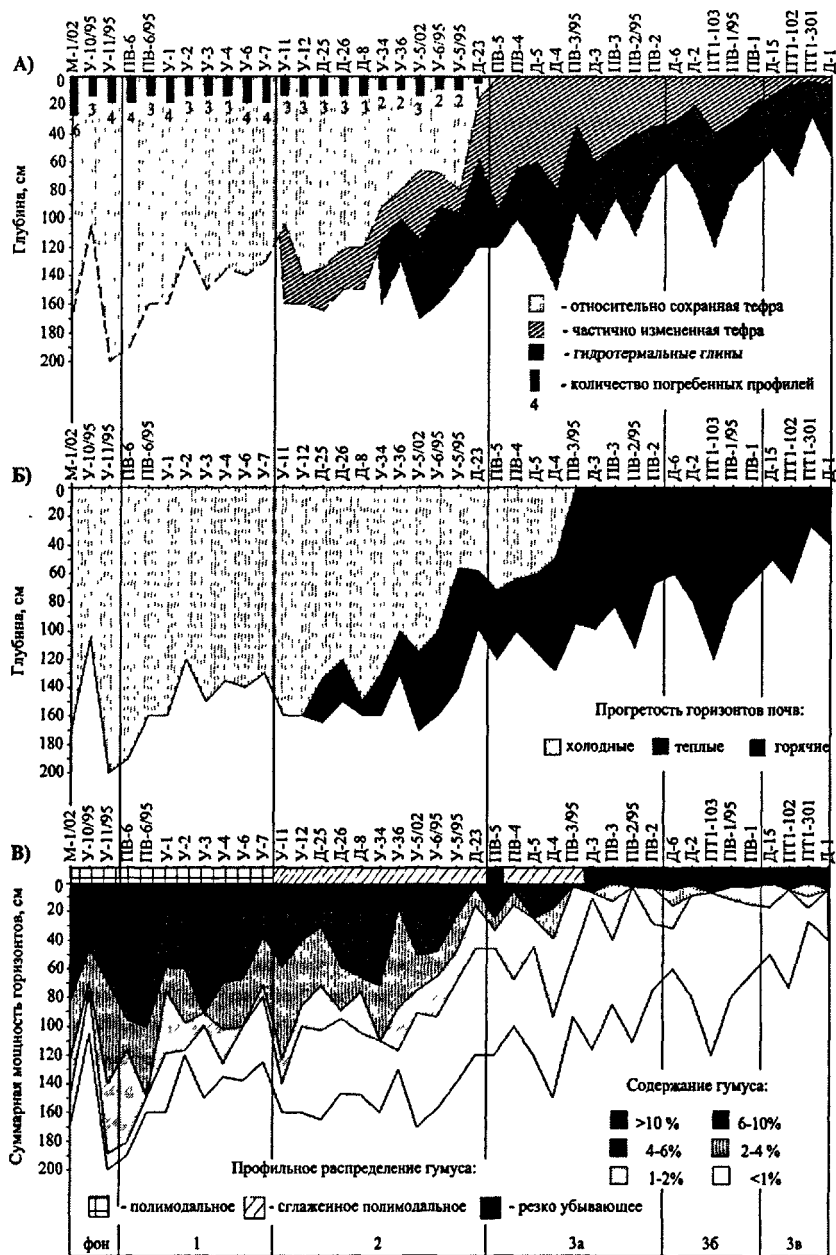


Рис.1. Изменение свойств почв ГТ-систем по мере усиления ГТ-воздействия:

А) сохранность тейры и наличие погребенных профилей; Б) температурные условия; В) распределение и запасы гумуса. Почвы: 1 - на пирокластических, 2 - на гетерогенных, 3 - на гидротермальных субстратах (3а - с полноразвитым, 3б - с укороченным, 3в - с примитивным профилем)

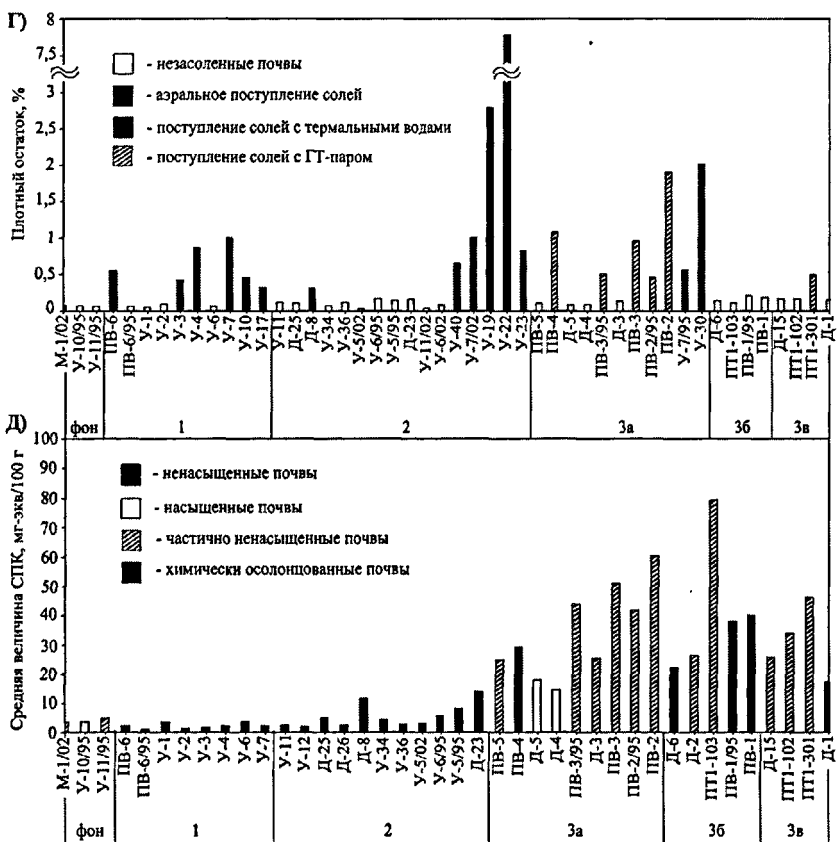


Рис.1 (продолжение). Г) максимальная величина плотного остатка в почвах, Д) сумма поглощенных катионов и качественный состав ППК

Химическое осолонцевание, как появление в ППК значительных количеств обменного Na^+ (более 15%) в отсутствие водорастворимых солей, наиболее часто отмечается в почвах за пределами и на периферии термальных полей, в зонах аэраального соленакопления (рис.1д). Тем не менее, морфологические признаки солонцового процесса в таких почвах отсутствуют из-за легкого гранулометрического состава. Почвы на ГТ-субстратах в большинстве случаев отличаются крайне низкими содержаниями обменного натрия (<1%), что объясняется формированием ГТ-глин в условиях кислой ненасыщенной среды, при низких концентрациях натрия в растворах. Кроме того, глинистые горизонты в силу плохой водопроницаемости являются преградой на пути водно-солевого потока, что также препятствует их химическому осолонцеванию.

Окремнение вызвано привносом кремнезема с термальными растворами и ГТ-паром и диагностируется в почвах термальных полей по наличию кремнистых новообразований (в виде натеков, мелких скоплений, корочек), состоящих из аморфных форм SiO_2 . Такие новообразования часто отмечаются в почвах на про-

паренных участках, где они осаждаются на локальном испарительном барьере в горизонтах грубой вулканокластики.

Рудообразование наиболее интенсивно проявляется в глинистых горизонтах почв при фильтрации к поверхности горячей парогазовой смеси, содержащей сероводород. Подвижные соединения железа, высвободившиеся при растворении первичных минералов тефры, осаждаются на сероводородном барьере (в горизонтах синих глин) с образованием пирита. Интенсивность пиритизации уменьшается с глубиной, что подчеркивает роль почвенных факторов в формировании зоны оруденения.

Разрушение первичных и синтез кристаллических глинистых минералов усиливаются по мере приближения к термопроявлениям (рис. 1а). Количество глинистых минералов, образующееся в почвах в результате ГТ-процесса, во много раз превосходит общую глинистую массу, формирующуюся в вулканических почвах в результате обычного внутрипочвенного выветривания (Соколов, 1973, 1993). Если в почвах за пределами термальных полей общее количество окристаллизованных глинистых минералов (каолинит-сметитов и смектита) не превышает 5% (с учетом относительного содержания илистой фракции, табл. 1), то в почвах на ГТ-субстратах они преобладают в составе почвенной массы (от 55 до 95 %). Одновременно происходит уменьшение количества *аморфных соединений* и увеличение поглотительной способности почв (рис. 1 д).

Трансформация глинистых минералов в наибольшей степени проявляется в почвах на гетерогенных субстратах, формирующихся на периферии термальных полей. Об этом свидетельствует большое количество метастабильных смешанослойных образований с различной нормой переслаивания пакетов, соотношение которых меняется в пределах вертикального профиля почв.

Рубефикация диагностируется в почвах термальных полей по появлению интенсивной красной окраски, вызванной накоплением тонкодисперсного гематита. Рубефицированные горизонты часто формируются в профиле почв на контакте с ГТ-глинами, непосредственно под горизонтами более легкого гранулометрического состава, что обеспечивает им относительно хорошую аэрируемость и поступление больших количеств железа.

По мере приближения к термопроявлениям меняется соотношение процессов метаморфизма органического вещества почв.

За пределами термальных полей (и вне ГТ-систем) дефицит тепла и повышенная влажность воздуха приводят к заторможенности процессов минерализации органического вещества и гумусообразования. Ведущим процессом является *сухое торфонакопление*, с формированием поверхностных грубогумусовых и сухоторфянистых горизонтов почв. По мере приближения к термопроявлениям развитие травянистой растительности и интенсивное гумусонакопление определяют преобладание дерновых и гумусово-аккумулятивных горизонтов почв. На роль ведущего в почвообразовании выдвигается *дерновый процесс*. В наиболее прогретых почвах (с примитивным профилем) интенсивность дернового процесса уменьшается благодаря сокращению количества поступающих растительных остатков и ускорению *минерализации органического вещества*.

Таким образом, степень выраженности и генетическая значимость боль-

шинства почвообразовательных процессов меняется по мере приближения к термоявлениям и существенно различается для основных групп почв ГТ-систем и фоновых вулканических почв (табл.2).

Степень выраженности основных почвообразовательных процессов в почвах современных гидротермальных систем Камчатки и фоновых вулканических почвах

Группы процессов	Процессы	Фоновые вулканические почвы	Почвы гидротермальных систем				
			на пирокластических субстратах	на гетерогенных субстратах	на гидротермальных субстратах		
					полноразв. профиль	укорочен. профиль	примитив. профиль
Непедогенное поступление вещества и энергии	Погребение почв лавой						
	Прогревание						
	Засоление						
	Химическое осолонцевание						
	Окремнение						
	Рудообразование						
Метаморфизм минерального вещества почв	Разрушение перв. минералов						
	Синтез аморфных соединений						
	Синтез кристалл. глин. минералов						
	Трансформация глин. минералов						
	Рубефикация						
Метаморфизм органического вещества почв	Сухое торфонакопление						
	Дерновый процесс						
	Минерализация органич. веществ						

3.3. Классификационная принадлежность почв ГТ-систем. Предпринята попытка определить классификационное положение изученных почв в соответствии с принципами новой российской почвенной классификации (Классификация..., 2004). Приводится более разработанный вариант предложенной ранее классификации почв ГТ-систем (Солнцева, Гольдфарб, 1998), построенный с привлечением дополнительных данных (рис.2).

Неодинаковый набор и соотношение почвообразовательных процессов на разных участках ГТ-систем (табл.2) не позволяют объединить рассматриваемые почвы в какую-то одну таксономическую единицу в пределах ствола синлито-



Рис.2. Классификация почв гидротермальных систем Камчатки

генных почв. По совокупности признаков существенным образом различаются почвы на пирокластических, гидротермальных и гетерогенных субстратах.

Почвы на пирокластических субстратах характеризуются следующими общими признаками: слоистостью и полигенетичностью профиля, преобладанием в минералогическом составе легко выветривающихся первичных минералов тефры и аморфных новообразованных веществ, низким содержанием кристаллических глинистых минералов, низкой величиной поглотительной способности, высокой гумусностью и полимодальным распределением гумуса, специфическими водно-физическими свойствами и др. Перечисленные признаки позволяют отнести почвы данной группы к отделу вулканических («Классификация...», 2004).

В пределах данного отдела по строению профиля различаются почвы, формирующиеся в мезоморфных и гидроморфных условиях.

Присутствие в профиле мезоморфных почв охристых горизонтов, повышенная мощность, неоднородный гранулометрический состав и интенсивная слоистость пирокластических отложений наиболее характерны для подтипа слоисто-охристых вулканических почв, распространенного на востоке и юге Камчатки на границе зоны интенсивных пеплопадов (Соколов, 1973, «Классификация...», 2004). В то же время, по ряду особенностей (наличию засоления, высоким содержаниям обменного Na⁺ в ППК) слоисто-охристые почвы ГТ-систем отличаются от своих фоновых аналогов (рис.1 г,д). Это позволяет выделять роды химически осолонцованных и засоленных почв.

Гидроморфные почвы характеризуются наличием нескольких элементарных профилей, состоящих из маломощных торфянистых, перегнойных и в различной степени оглеенных маркирующих горизонтов тефры. Их предлагается выделять на правах самостоятельного подтипа слоисто-пепловых торфянисто-перегнойно-глеевых почв в отделе вулканических почв (рис.2). Как и в предыдущем случае, несмотря на отсутствие явных морфологических признаков ГТ-процесса, в почвах фиксируются признаки химического изменения, что отличает их от фоновых почв на уровне рода.

Почвы на гидротермальных субстратах характеризуются отсутствием неизменной пирокластики и погребенных элементарных профилей (монокгенностью), наличием глинистых горизонтов и преобладанием окристаллизованных глинистых минералов в илистой фракции, средним или тяжелым гранулометрическим составом, а также средней или высокой величиной поглощательной способности. По сравнению с вулканическими, данные почвы отличаются меньшими запасами гумуса, сосредоточенными в основном в поверхностных горизонтах и резко убывающими с глубиной, более фульватным его составом, увеличением долей «прочносвязанных» фракций и величины негидролизующего остатка. Их основные морфогенетические особенности определяются процессами метаморфизма минерального вещества (разрушением первичных пирокластических и синтезом кристаллических глинистых минералов), прогреванием почвенной массы и дерновым процессом (табл.2).

Специфика почвообразовательных процессов и общность формируемых ими свойств указывает на необходимость классификационного выделения данных почв в новый, самостоятельный отдел гидротермальных почв (термоземов). Общими свойствами термоземов являются ярко выраженные признаки ГТ-метаморфизма минеральной массы с обязательным формированием в почвенном профиле ГТ-метаморфических («термометаморфических») горизонтов, для выделения специфики которых предложено введение новых индексов - BTM и TM. Эти горизонты формируются при активном участии литогенных («аллохтонных» по отношению к почве, наложенных) процессов, сопровождающихся привносом вещества и энергии и имеющих гораздо большую интенсивность, чем обычные («инситу») процессы внутрипочвенного выветривания.

Внутри отдела термоземов на основе строения профиля наиболее различаются почвы, развивающиеся в ксеро-мезоморфных и гидроморфных условиях.

Ксероморфно-мезоморфные почвы формируются на пропаренных участках термальных полей и непосредственно не контактируют с термальными водами. Формирование под травянистой растительностью и прогреваемость почвенной массы определяют развитие в почвах дернового процесса, сопровождающегося «инситу» гумусонакоплением. Профиль таких почв характеризуется единой системой основных диагностических горизонтов: AY-BTM-TM. Общность строения и свойств рассматриваемых почв, сходство процессов и режимов почвообразования позволяют выделить внутри отдела гидротермальных почв тип термоземов дерновых.

В пределах данного типа почвы различаются по степени выраженности отдельных генетических горизонтов и признаков. По мере усиления ГТ-процесса последовательно сменяют друг друга четыре подтипа дерновых термоземов:

1) остаточно-слоистых, 2) альфегумусовых, 3) типичных, и 4) слаборазвитых почв. В пределах подтипов выделяются роды почв по химическому составу солей или качественному составу ППК (рис.2).

Почвы, формирующиеся на ГТ-субстратах в гидроморфных условиях, отличаются от термоземов дерновых выраженным оглеением поверхностных или нижних горизонтов профиля. Их предлагается выделять на правах самостоятельного типа термоземов дерновых глеевых (рис.2). Принципы выделения и диагностика подтипов и родов почв аналогичны принятым для типа дерновых термоземов.

Почвы на гетерогенных субстратах по совокупности процессов и свойств занимают промежуточное положение между почвами двух описанных выше групп. С почвами на пирокластических субстратах их объединяют слоистость и полигенетичность, преобладание в илистой фракции первичных пирокластических минералов и аморфных новообразованных веществ, преимущественно низкая величина поглотительной способности и легкий (в верхней части профиля) гранулометрический состав, высокие содержания обменного натрия в ППК. С почвами на ГТ-субстратах их сближают наличие в нижней части профиля глинистых или сапролитизированных горизонтов, увеличение доли окристаллизованных глинистых минералов в илистом профиле, а также прогретость нижних горизонтов почв и отсутствие промерзания. По сравнению с почвами на пирокластических субстратах отмечается уменьшение запасов гумуса и глубины прогумусированности; профильное распределение гумуса приобретает более сглаженный характер. Появляются специфические процессы, характерные для гидротермальных почв: окремнение, рудообразование, рубефикация и др. (табл.2).

Поскольку в рассматриваемых почвах в верхней части профиля сохраняется (в частично или полностью ненарушенном состоянии) большинство типодиагностических горизонтов, характерных для фоновых вулканических почв, их предлагается включать в отдел вулканических почв, с выделением гидротермально-измененных подтипов в соответствующих типах почв (рис.2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гидротермальный процесс является мощным аazonальным фактором, определяющим формирование почвенного покрова на территориях современных ГТ-систем. Все почвы, формирующиеся в пределах Узон-Гейзерной и Паужетской ГТ-систем (восток и юг Камчатки), в различной степени затронуты ГТ-воздействием. В зависимости от интенсивности и длительности ГТ-процесса происходит либо трансформация отдельных свойств почв (без существенной перестройки их морфологического облика и строения), либо коренное преобразование механизмов формирования почв, приводящее к образованию новых почвенных тел с уникальным сочетанием морфологических, минералогических, физико-химических и химических особенностей, не свойственных зональному типу почвообразования.

Под воздействием ГТ-процесса в почвах происходят следующие изменения:

1. Упрощается строение почвенных профилей и уменьшается их мощность. Признаки вулканических почв (слоистость, полигенетичность) постепенно исчезают, сменяясь признаками ГТ-метаморфизма почвенной массы (появление глинистых метаморфических горизонтов, моногенность). Одновременно происходит

утяжеление гранулометрического состава и ухудшение водно-физических свойств почв. Выделяются три основные морфогенетические группы почв, отличающиеся качественно разным строением профиля, что соответствует почвообразованию на морфологически не измененных (пирокластических), частично измененных («гетерогенных») и полностью измененных (гидротермальных) субстратах.

2. Происходят качественные изменения процессов метаморфизма минерального вещества и минералогического состава почв. Интенсивность разрушения первичных пирокластических минералов по мере приближения к термопроявлениям резко возрастает. В составе новообразованных продуктов выветривания начинают преобладать кристаллические глинистые минералы (каолинит-сметитовые смешанослойные образования и смектит). Их формирование в большинстве случаев синхронно современному почвообразованию. Основным морфогенетическим группам почв ГТ-систем соответствуют качественно разные типы профилей илистого вещества.

3. По мере приближения к термопроявлениям меняются основные показатели гумусного состояния почв - содержание, распределение и состав гумуса. Происходит уменьшение запасов гумуса и упрощается строение гумусовых профилей: количество гумуса резко сокращается с глубиной, а гумусовая кривая приобретает более равномерный, сглаженный характер. Снижается глубина гумификации, гумус становится еще более фульватным с увеличением долей «прочносвязанных» фракций гуминовых и фульвокислот, негидролизуемого остатка.

4. Несмотря на ультрагумидный климат Камчатки в почвах отмечаются повышенные содержания водорастворимых солей, вплоть до формирования горизонтов солевых аккумуляций. Количество солей и особенности солевого состава почв определяются механизмами поступления солей (с минерализованными термальными водами, при внутрисочвенной конденсации и аэральном переносе ГТ-пара), химизмом источника засоления и процессами внутрисочвенного метаморфизма растворов. В почвах термальных полей, наряду с обычными для засоленных почв ионами Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ , в процессах засоления участвуют ионы Fe^{3+} , Al^{3+} и Mn^{2+} , что приводит к формированию специфического квасцового типа засоления с низкими значениями pH.

5. Происходит глубокая трансформация свойств коллоидных систем почв: меняется величина поглотительной способности и состав обменных катионов в ППК. Высокая геохимическая контрастность термальных растворов определяет появление на близких расстояниях почв с различным качественным составом ППК, встречающихся в обычных условиях в разных природных зонах.

6. Реакция почв меняется в широких пределах (от сильнокислой до нейтральной), что существенно превышает диапазон изменений pH в фоновых вулканических почвах. Изменения щелочно-кислотных условий соответствуют изменениям качественного состава поглощающего комплекса почв и состава воздействующих на почвы растворов.

7. Контрастность и динамичность условий почвообразования в ряде случаев приводят к диссонансу почвенных свойств: в поглощающем комплексе почв могут одновременно присутствовать высокие содержания обменных H^+ , Al^{3+} и Na^+ , насыщенность и химическая солонцеватость могут сочетаться с кислой реакцией

почвенных суспензии, а солевой состав почв может отличаться от состава вод, вскрывающихся в пределах профиля. Эти и другие диссонансные сочетания практически не встречаются в природных почвах.

8. Специфика почвообразования на территориях ГТ-систем определяется взаимодействием педогенных и литогенных процессов, набор и сочетания которых глубоко своеобразны и не встречаются в других природных почвах. По мере приближения к термопроявлениям меняется соотношение процессов: степень выраженности одних процессов усиливается (разрушение первичных и синтез кристаллических глинистых минералов, минерализация органических веществ и др.), других - ослабевает (погребение почв пеплами, сухое торфонакопление и др.). Появляется группа специфических процессов, не характерных для фоновых вулканических почв (прогревание, рубефикация, засоление и др.).

Таким образом, по мере приближения к термопроявлениям почвы ГТ-систем по совокупности признаков все более отличаются от фоновых вулканических почв, нарастает степень их генетического своеобразия. Наименее специфичными оказываются почвы на пирокластических субстратах за пределами термальных полей, отличающиеся от фоновых вулканических почв только достаточно динамичными признаками (составом почвенных растворов и поглощающего комплекса, щелочно-кислотными условиями и др.). Наиболее специфичны почвы на ГТ-субстратах, в которых ГТ-процесс меняет все почвенные характеристики, в том числе наиболее устойчивые и консервативные (строение профиля, минералогический состав и др.). Установленные различия позволяют относить почвы ГТ-систем к двум разным генетическим общностям, соответствующим двум типам литогенеза и двум основным направлениям почвообразования - вулканическому и гидротермальному. Генетическую общность гидротермальных почв (термоземов) предлагается выделять на уровне нового отдела в классификации почв России.

Список статей, опубликованных по теме диссертации:

1. Гольдфарб И.Л. Влияние гидротермальной деятельности на условия формирования и морфологический облик почв (на примере основных гидротермальных систем Камчатки) // Почвоведение. - 1996. - № 12. - С. 1413-1419.

2. Гольдфарб И.Л., Солнцева Н.П. Влияние современных гидротермальных систем на особенности солевого состава почв Кроноцкого заповедника (на примере кальдеры вулкана Узон и Долины Гейзеров) // Почвенные исследования в заповедниках. Проблемы заповедного дела: Сб. научных трудов. - М., 1995. - вып. 7, - С. 159-176.

3. Солнцева Н.П., Гольдфарб И.Л. Геохимические особенности ландшафтов современных парогидротермальных месторождений Камчатки (на примере Паужетского месторождения) // Вестник МГУ, сер. 5, География. - 1994. - № 2. - С. 65-73.

4. Солнцева Н.П., Гольдфарб И.Л. Генетические модели почвообразования на территории современных термальных полей Камчатки // Региональные проблемы экологии, географии и картографии почв (к 100-летию со дня рождения ЮАЛиверовского): Сборник. - Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. - С. 122-142.

Подписано в печать 09.03.2005г. Заказ № 75 .
Объем 1 п.л. Формат 60х84 1/16. Тираж 150 экз.

Отпечатано ООО «Графикс В»
г. Москва, ул. Долгоруковская, д. 33
тел.: +7 (095) 969-07-72
<http://www.grafiksv.ru>

22 MAR 2005

