

ГЕОГРАФИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОЧВ И ПОЧВОПОДОБНЫХ СИСТЕМ

© 2022 г. С. В. Горячкин

Институт географии РАН, Москва, Россия

E-mail: goryachkin@igras.ru

Поступила в редакцию 31.01.2022 г.

После доработки 06.02.2022 г.

Принята к публикации 20.02.2022 г.

Экстремальные условия среды в высокогорьях, на поверхности ледников, в пустынях, в Арктике и Антарктиде, а также связанные с мелководьями, токсичными или бедными по содержанию питательных элементов субстратами, интенсивными антропогенными воздействиями, специфической атмосферой или её отсутствием во внеземных системах, приводят к формированию почв и почвоподобных систем (солоидов), которые не соответствуют традиционным канонам современного почвоведения и географии почв. Предлагается новое научное направление – география и генезис почв экстремальных условий со своей теорией, понятийным аппаратом и методологической основой. Общая площадь, занятая экстремальными почвами и солоидами, оценивается как ~20% почвенного покрова Земли.

Ключевые слова: пустыни, полярные области, высокогорья, пещерные солоиды, эндолиты, супрагляциальные системы, внеземные почвоподобные тела, антропогенные почвы.

DOI: 10.31857/S0869587322060056

“Экстремальный”, “экстремальность” – слова, которые обозначают чрезвычайность, необычность, предельность, сложность, крайность, – пронизывают жизнь в XXI в. Встречаются эти термины и в фундаментальных науках, от математики до биологии.

Вместе с тем генезис и география почв, формирующихся в неблагоприятных для почвообразования условиях, в настоящее время не представляют собой единое научное направление. Почвы полярных областей, экстрааридных пустынь, ультраконтинентальных условий изучаются разными коллективами и классифицируются наряду с обычными почвами, причём, как правило, в качестве слабо развитых. Такие биокосные (по В.И. Вернадскому) образования, как “пустынные загары”, “почвоплёнки”, несмотря на фундаментальные труды классиков почвоведения и географии почв Б.Б. Полынова [1] и М.А. Глазвской [2], теперь вообще изучаются не почвоведом, а биогеохимиками и геобиологами [3]. С другой стороны, многометровые толщи кор выветривания и рыхлых отложений, про которые

Б.Б. Полынов писал, что “почвоведение... ближе, чем другие науки подходит к процессам, протекающим в этой оболочке” [4, с. 5], теперь исследуются специалистами по экологии суши (terrestrial ecology), которые занимаются так называемыми критическими зонами. В стороне от мейнстрима географии почв оказались и почвы, формирующиеся в экстремальных условиях, созданных человеком, – на фоне катастрофической эрозии, в сельбах на многометровых культурных слоях, а также при интенсивных техногенных воздействиях. Между тем познание таких почвенных образований имеет важное фундаментальное значение для наук о Земле в целом, выходящее за рамки географии и почвоведения.

На протяжении большей части геологической истории в несколько миллиардов лет на Земле могли существовать почвы только в экстремальных по отношению к сегодняшнему дню условиях. Лишь около 400 млн лет назад появляется растительность с корневыми системами. Поэтому современные почвы высоких широт, высокогорий, некоторых пустынь с криптогамным (цианобактерии, водоросли, лишайники, мхи) растительным покровом, а также почвы каменных гор и есть аналоги почв далёкого прошлого.

ГОРЯЧКИН Сергей Викторович – доктор географических наук, заведующий отделом Института географии РАН.

Познавая их, мы подходим к тайнам органо-минеральных взаимодействий древних эпох [5]. Подобные тела в почвенном покрове Земли возникли и много позже — во время плейстоценовых оледенений, возникают они и сейчас. Иными словами, развитие почв шло от экстремальных к сочетанию экстремальных и оптимальных почв, причём соотношение их в почвенном покрове менялось и продолжает меняться [6]. Изучение генезиса и географии экстремальных почв Земли позволит в будущем адекватно познавать внеземные почвоподобные тела, формирующиеся на Марсе, других планетах и их спутниках [7, 8].

Помимо фундаментально-научного значения, осознание существования экстремальных почв и их географического разнообразия, а также их изучение имеет и большое социально-экономическое значение, в частности на современном этапе освоения Арктики и Антарктиды. А в отдалённой перспективе, как прогнозировали такие выдающиеся умы, как К.Э. Циолковский, С. Хокинг, К. Саган, человечество будет вынуждено покинуть Землю, и учёные должны будут обеспечивать землян информацией об окружающей среде колонизируемых планет, в том числе и о почвах и почвоподобных телах. Для решения этих перспективных задач фундамент нужно закладывать уже сегодня.

НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЯВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ГЕОГРАФИИ ПОЧВ

Судя по народным классификациям почв разных стран и континентов [9], люди издревле разделяли продуктивные при земледельческом использовании почвы и разнообразные неудобья, часть которых мы могли бы сегодня отнести к экстремальным. Основоположник генетического почвоведения В.В. Докучаев выделял нормальные (растительно-наземные) и аномальные (наземные) почвы, а также переходные между ними типы [10]. При дальнейшем развитии почвоведения менялись приоритеты классификаций (подробно это изложено в работе [9]), названия классов почв, увеличивалось их число, но до сих пор, например, в отечественной классификации сохранилось деление на большой ствол постлитогенных почв и малый ствол органогенных почв, в который, собственно, и входят все “нормальные”, по Докучаеву, почвы, а также меньшие стволы синлитогенных и слаборазвитых почв [9], к которым относится большая часть почв, которые сегодня можно причислить к экстремальным.

В последней четверти прошлого века появилась серия работ, в которых предпринималась попытка определить понятие “почва”, объекты почвоведения и классифицировать почвы. В.М. Фридланд предложил включить в классификацию почв “парапочвы (почвоподобные тела)”, то есть тела на

поверхности Земли, “способные обеспечивать развитие зелёных растений” [11]. К ним были отнесены рыхлые горные породы, переотложенные и сконструированные почвогрунты, а также “подводные донные образования, находящиеся на небольшой глубине”. Параллельно с В.М. Фридландом тему классификации почв и объектов почвоведения развивал И.А. Соколов [12]. В качестве объектов почвоведения он предлагал выделять: почвы — “самостоятельные субэкральные естественно-исторические тела, образующиеся на месте в результате преобразования под влиянием биоты и климата исходных почвообразующих минеральных пород”; “полупочвы — тела, формирующиеся под влиянием процессов почвообразования и иных процессов и исполняющие основную экологическую функцию почв” (сюда отнесены аллювиальные, вулканические, органо-генные, примитивные и другие почвы); “парапочвы — тела, образующие экзосферу Земли (геодерму) и выполняющие экологическую функцию почв, но почвами не являющиеся (полупочвы и обладающие плодородием непочвенные образования)”; “экопочвы — тела, выполняющие биосферную экологическую роль почв (почвы и парапочвы)”.

В.О. Таргульян [13] также предложил расширить теоретическую базу почвоведения, включая внеземные тела, в которых происходит взаимодействие в системе “среда—субстрат”. Вместе с аналогичными телами они представляют собой “экзоны”, которые подразделяются на “ситоны, трансоны и трансситоны”, обозначающие: тела, в которых продукты взаимодействия остаются на месте; тела, в которых они переносятся; переходный вариант.

Ю.С. Толчельников предложил весь массив почв и близких к ним тел, обладающих способностью поддерживать жизнь растений, разделить на экологически скореллированные (целинные и подводные почвы) и на экологически нескореллированные (“молодые, агротехнически и мелиоративно преобразованные, органо-минеральные массы отдельных почвенных горизонтов, перемещённые на другие участки, в том числе в закрытые помещения”, “искусственные вещества, используемые для выращивания растений” и т.д.) [14, с. 57].

Е.А. Дмитриев на основе работ В.О. Таргульяна предложил в понятие экзона включать почвы и почвоподобные тела, среди которых могут быть введены классы “организационно” (абиотические экзоны с горизонтным строением), “функционально” (обладающие плодородием) и “экологически” (занимающие место почв, например, каменистые россыпи) почвоподобных тел. При этом “границы между почвами и непочвами... всегда будут иметь договорной характер” [15, с. 310].

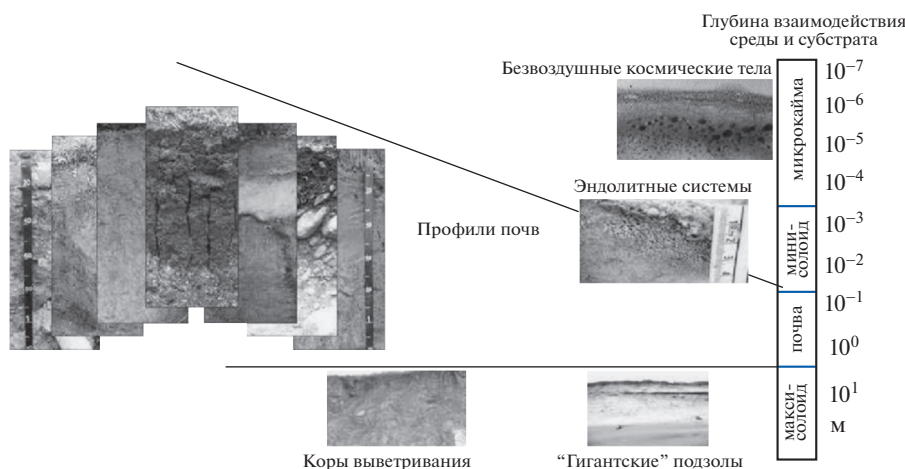


Рис. 1. Шкала глубин взаимодействия в системе “среда–субстрат” на земных и внеземных объектах

К почвоподобным телам он отнёс также коры выветривания и донные отложения.

В XXI в. объём информации о почвах и почвоподобных телах значительно расширился. Активно велись работы по почвам Антарктиды, развивались исследования органо-минерального взаимодействия на поверхности и внутри плотных пород – эпилитного и эндолитного выветривания [5, 16]. Существенным образом продвинулось изучение подводных и маршевых почв, в том числе и российскими учёными [17], а также почв, сформированных на субстратах со своеобразным химико-минералогическим составом [18]. Появились обобщения по почвам жарких пустынь [19], лавинообразно увеличивается количество данных по техногенным почвам и субстратам [20]. Кроме того, кардинальным образом изменились инструментальные возможности изучения детальных свойств вещества на микро- и наноуровне [21].

На основании обобщения изложенного выше теоретического и эмпирического материала была сформулирована концепция *почвоведения и географии почв экстремальных условий* [21, 22], которая развивается в данной работе.

ОБЪЕКТЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ГЕОГРАФИИ ПОЧВ

Определяя критерии, по которым те или иные почвенные тела могут быть отнесены к почвам экстремальных условий, мы основываемся на *педоцентрическом подходе*, то есть оцениваем существующую и потенциальную степень развития профиля, а также, в качестве дополнительного признака, напряжённость потоков вещества и энергии данной почвы. Предлагается выделять почвы экстремальных условий среды, которые в дальнейшем будем называть экстремальными

почвами (отдавая себе отчёт в том, что это жаргонизм).

В последние десятилетия получен значительный материал по минералогии и геохимии поверхностных тел атмосферных (в основном Марс) и безвоздушных (Луна, астероиды, кометы) космических объектов [7, 8]. Для них в англоязычной литературе активно используется термин “soil” (Martian soil, Lunar soil), под которым понимается просто рыхлый неконосолидированный субстрат – реголит. Он возникает под действием таких факторов, как огромная амплитуда температур, метеоритная бомбардировка, солнечный ветер, космическое излучение [8]. Однако, как представляется, научное докучаевское определение почвы нельзя расширять до полностью абиогенных объектов, поэтому нами предложен термин “солоид” в качестве аналога термина “почвоподобное тело” [7]. На основе данных, изложенных в предыдущем разделе, а также информации о продуктах взаимодействия среды и породы в космическом пространстве была составлена шкала глубин взаимодействия в системе “среда–субстрат” на земных и внеземных объектах и определено место почв на ней (рис. 1). Как видим, взаимодействия осуществляются в весьма широком диапазоне – от десятков нанометров до первых десятков метров. Однако мы считаем, что самостоятельные, то есть расположенные на границе “среда–субстрат”, а не внутри других объектов природные результаты взаимодействия с глубиной менее 1 мм и невидимые невооружённым глазом, не являются объектами почвоведения, даже имеющего дело с экстремальными условиями. Поэтому к объектам нашей науки мы предлагаем относить тела с определёнными ограничениями.

Для почвы, в том числе экстремальной, необходимо наличие следующих признаков: рыхлый дисперсный (размер частиц <2 мм) минеральный



Рис. 2. Доступность ресурсов и степень экстремальности объектов почвоведения

и/или органический материал, мощностью $> n$ см; горизонтная стратификация *in situ*, хотя бы на микроуровне и хотя бы на фоне седиментационной слоистости на глубину n см; наличие (микро)биоты; наличие органического вещества, хотя бы в следовых количествах; преимущественно субаэральный или субаквальный режим под слоем воды ≤ 2 м.

Солоиды отличаются такими признаками: рыхлый дисперсный (размер частиц < 2 мм) минеральный и/или органический материал, хотя бы в следовых количествах; (микро)горизонтная стратификация *in situ*, хотя бы и на фоне седиментационной слоистости на глубину $> n$ мм; контакт со средой, представляющей собой вакуум, газообразную или жидкую фазу. При этом наличие биоты и органического вещества не обязательно.

Критерии отнесения объектов почвоведения к экстремальным предусматривают развитие почв и солоидов в экстремальных условиях Земли и землеподобных планет как при недостатке ресурсов (вещества и энергии), так и при его избытке (рис. 2). Экстремальность, связанная с дефицитом или избытком ресурсов, определяется по отношению к “докучаевским” почвам нормальных/оптимальных условий, то есть природным телам, для которых разработаны методология исследования и классификационные системы современного почвоведения. Экстремальность, обусловленная дефицитом ресурсов, традиционна для экологии и биологии. Однако анализ показал, что для генезиса и географии почв имеет смысл выделять и экстремальные объекты почвоведения при избытке ресурсов, так как и в этом случае образуются тела, например, коры выветривания и формирующиеся на них ферралитные почвы, сильно отличающиеся от основных объектов почвоведения. Они требуют особых подходов, например, в силу низкой поглощающей активности глин, очень высокой доли обменного алюминия и сильнокислой в связи с этим реакцией среды.

В экстремальных условиях образуются ортоэкстремальные почвы, то есть “правильные”, настоящие экстремальные, и параэкстремальные почвы (почти экстремальные). Последние представляют переходную форму от экстремальных к нормальным или оптимальным почвам. В ультраэкстремальных условиях образуются солоиды, которые при недостатке ресурсов формируются на микроуровне (например, в эндолитных системах [5]) — минисолоиды, а при их избытке — на макроуровне (метры и десятки метров) — максисолоиды, например, многометровые культурные слои, или урбоседименты [23], а также мощные коры выветривания и гигантские подзолы с элювиальным горизонтом в пять и более метров в условиях жаркого и влажного климата, действующего на субстраты в течение сотен тысяч лет.

Критериями ортоэкстремальных почв являются неразвитость профилей и/или стрессовое состояние биоценозов почв, а также, в качестве дополнительного признака, крайне малые напочвенные потоки углерод- и азотсодержащих газов. К ортоэкстремальным мы причисляем почвы с неразвитым гумусовым и подстилочным горизонтом, относящиеся по российской классификации к псаммозёмам, петрозёмам, пелозёмам, некоторым солончакам. В эту же группу мы включаем техногенно “отравленные” почвы, в которых морфоструктурные профили сохранены, а биофункциональное сильно редуцировано и не соответствует морфологическому облику. К параэкстремальным почвам могут быть отнесены, например, почвы ультраконтинентальных областей, в которых профиль полноразвитый, но которые мы также знаем, что зимой их поверхность охлаждается до -50°C , но приводит ли это к каким-то отличиям от классических почв и требуют ли эти почвы особых подходов к их исследованию, пока неизвестно. Некоторые почвы, например, песчаные подзолы южной тайги, когда-то находились под селитьбами или пережили периоды распашки и до сих пор не могут восстановить исходные профили, несмотря на то, что на

протяжении уже нескольких сотен или даже тысяч лет они пребывают под лесной растительностью [24]. В отличие от большинства почв, которые практически полностью восстанавливают свои профили при выводе из сельскохозяйственного оборота, эти изменённые почвы тоже следует отнести к параэкстремальным.

КЛАССЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ПОЧВ

Пространственно-временной синтез полученных знаний о почвах экстремальных условий позволил выделить следующие классы экстремальности почв и солоидов.

I. *Факторная экстремальность почв.* Моно- и мультифакторная экстремальность, связанная с особенностями одного или нескольких факторов почвообразования (см. ниже).

II. *Надземная экстремальность почв и солоидов.* В некоторых случаях почвы и солоиды развиваются на древесном ярусе экосистем при участии эпифитов, задерживающих органические остатки и эоловый мелкозём, — это подвешенные (suspended) почвы [25]. Сюда же можно отнести и ещё не исследованные органо-минеральные образования, формирующиеся на месте заброшенных древесных колоний животных — термитов, птиц.

III. *Экстремальность супрагляциальных почв и солоидов.* Речь идёт о специфических органо-минеральных образованиях на поверхности ледников и снежников [26]. Эоловое накопление мелкозёма и появление растительности, начиная от водорослей и заканчивая лесом, обуславливают процессы, приводящие к появлению целой серии солоидов и почв: светопоглощающих примесей, криоконитов, “ледовых” почв (накопление разложенных остатков водорослей на поверхности льда, мощностью n см), полноразвитых почв под высшей растительностью, формирующихся на силикатном материале, подстилаемом глыбами мёртвого льда [26, 27].

IV. *Режимно-функциональная экстремальность почв* связана с формированием в какой-то период (сезон, год) экстремальных для конкретной территории условий, прежде всего погодных. Как правило, это связано с отсутствием или избытком осадков, крайне высокими или крайне низкими для региона температурами, ледяным дождём и т.д. Например, экстремально жаркое и сухое лето 2003 г. в Западной Европе и 2010 г. в России оказало сильное влияние на потоки парниковых газов из почв [28]. Этот класс экстремальности далеко не всегда или даже редко связан с генезисом и географией почв и появлением собственно экстремальных почв.

V. *Хорологическая (внеареальная) экстремальность* типа почвообразования связана с появлением почв, которые обычно характерны для дру-

гих территорий с иным климатом. Например, немецкими почвоведом на побережье Восточной Антарктиды были найдены почвы, по всем критериям международной системы WRB соответствующие подзолам (Podzols) [29], которые типичны для лесов и тундр. Другой пример был обнаружен с нашим участием для вертисолей (Vertisols по WRB). Вертисоли в большинстве своём относятся к глинистым почвам тропиков и субтропиков с чередованием сухого и влажного периодов. Однако недавно вертисоли были найдены и описаны в мерзлотной области Центральной Бурятии [30].

VI. *Возрастная экстремальность почв* стоит особняком по отношению к предыдущим классам. Сюда относятся очень молодые или, наоборот, очень древние почвы нормальных условий почвообразования. Первые через сотни или тысячи лет превратятся в нормальные оптимальные почвы, а вторые были таковыми миллионы лет назад. Однако подходы к исследованию первичных [31] и очень древних почв [32] во многом близки к экстремальной географии почв (электронная микроскопия, томография и др.), так как рутинные методы почвоведения оказываются недостаточно аккуратными по отношению к этим хрупким объектам.

Отдельно рассмотрим наиболее распространённую факторную экстремальность почв. Можно выделить следующие её разновидности.

Климатически экстремальные почвы (клима-экстремальные) — недостаточно обеспеченные теплом (регионы высоких широт) или влагой (засушливые регионы), территории с резкими колебаниями климатических условий [16, 19].

Почвы, экстремальные в связи с рельефом (топо-экстремальные), неполноразвитость которых связана с местными условиями рельефа (пещеры, отвесные скалы и т.д.) [33 и др.].

Почвы, лимитированные по биоте (биоэкстремальные), например, почвоподобные тела пещер, где полностью отсутствуют фотосинтезирующие организмы, или почвы под бескорневой растительностью [33, 16].

Почвы, экстремальные в связи с субстратом (литоэкстремальные), например, развивающиеся в токсичной среде или на крайне бедной основе, что не обеспечивает в должной мере благоприятные свойства и запас питательных веществ для развития биоты [18], а также экстремальные в связи с крайне неблагоприятными физическими свойствами, например, высокой каменистостью и практическим отсутствием мелкозёма.

Почвы, развитие которых лимитировано современным формированием отложений (седименто- или седизэкстремальные) — эоловым, флювиальным, вулканическим и т.д., что было известно ещё в додокучаевский период.

Почвы, сформировавшиеся под активным влиянием современных или прошлых эндогенных процессов (эндогенно экстремальные) [34], а также биокосные образования в гидротермальных условиях.

Почвы, сильно подверженные действию поверхностных вод на днищах мелких водоёмов, которые, согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов [29], относятся к почвам и классифицируются как почвы (субаквоэкстремальные) [17].

Почвы, подверженные сильному воздействию грунтовых, в том числе засоленных, вод (гидроэкстремальные).

Почвы, сильно изменённые или сформированные в связи с деятельностью человека (антропогенно-экстремальные), — почвы на культурных слоях, токсичных отходах и т.д.

Весьма часто приходится иметь дело с мультифакторной экстремальностью. Как правило, климаэкстремальные почвы одновременно являются литоэкстремальными из-за выноса мелкозёма сильными ветрами или седиэкстремальными в связи с эоловым привносом. Топоэкстремальность часто сочетается с литоэкстремальностью почв.

ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Исходя из изложенных выше сведений о разнообразии экстремальных почв и солоидов, может создаться впечатление, что такие почвы преобладают на поверхности Земли. Но это не совсем так. Оценить общую площадь экстремальных почв для всего мира можно по подсчётам, сделанным в Таксономии почв США [35] на основании прилагаемой к ней карты “Global Soil Regions”, в свою очередь созданной по данным Почвенной карты мира Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО). Использовать единицы Таксономии почв для интерпретации их потенциальной экстремальности оказалось эффективнее, чем элементы легенды Почвенной карты ФАО–ЮНЕСКО. К возможным ареалам солоидов следует отнести скалисто-каменистые выходы (~10% свободной ото льда суши) и с большой степенью условности движущиеся пески (~4%). К ареалам экстремальных почв — площади, занимаемые практически всеми энтисолями — слаборазвитыми почвами (~16%). В совокупности они составляют 30% внеледниковой площади суши. Но если добавить к ним ещё около пятой части от 7% площади, занимаемой оксисолями (недифференцированными тропическими почвами на корях выветривания), а также некоторую часть гелисолей (мерзлотных почв), то общую долю экстремальных почв и солоидов в покрове Земли, по расчётам, основан-

ных на американской Таксономии почв, можно оценить в 35–40%.

Однако это очень приблизительная и, на наш взгляд, сильно завышенная оценка, так как на карте “Global Soil Regions” к выходам скал отнесён весь пояс гор Северо-Восточной и Южной Сибири, Тибет, Среднесибирское плоскогорье. Видимо, более точный подсчёт площадей экстремальных почв на Земле ещё только предстоит произвести, но сегодня оценка в 20–25% общей площади внеледниковой суши представляется наиболее вероятной.

Основные ареалы экстремальных почв — это аридные пустыни: Сахара, Аравийская, Большая Австралийская, Калахари, а также наиболее сухие и холодные горные массивы в Азии, Арктике. Наибольшие ареалы экстремальных почв с избытком ресурсов расположены в бассейнах экваториальных рек Амазонки и Конго. Самые крупные ареалы относятся к клима-, седи- и литоэкстремальным почвам.

В отдельных макрорегионах распространения экстремальных почв, например, в полярных областях Земли, законы глобальной географии почв, прежде всего их широтная зональность, нарушаются из-за воздействия ледников. Почвенный покров приобретает островное строение (острова почв среди морского и наземного льда), а его характер зависит в большей мере от локальных причин (близость к леднику и его размеры, наветренное или подветренное положение, экспозиция, наличие или отсутствие птичьих базаров и стоков с них и т.д.), чем от широты местности. В связи с этим близкие к полюсам почвы могут быть более плодородными — это явление можно назвать *гляциогенной инверсией зональности почвенных свойств и процессов*. В целом же географические закономерности высокоширотных областей предлагается назвать *мозаично-островным* географическим распространением почв.

В настоящее время многие географы-почвоведы осознают, что объектами их науки являются не только нормальные почвы, для которых разработан методологический и методический аппарат исследований и классификация, но и природные тела, которые занимают место этих почв в почвенном покрове, но иногда довольно сильно от них отличаются. В основном это связано с особенностями факторов почвообразования. Однако в качестве некоего единства эти специфические объекты ранее не рассматривались. Именно поэтому представляется важным оформить новое научное направление — *генезис и география почв экстремальных условий*. Его объектами являются почвы и солоиды (почвоподобные тела), которые

развиваются в экстремальных (крайних, необычных для нормальных почв) условиях, как при недостатке, так и при избытке ресурсов.

Предлагается выделять различные классы экстремальности почв и солоидов — факторный, надземный, супрагляциальный, режимно-функциональный, хорологический (внеареальный) и возрастной. Среди класса факторной экстремальности определены клима-, топо-, био-, лито-, эндогенно-, седименто-, субакво-, гидро- и антропогенноэкстремальные почвы и солоиды.

Почвы, которые можно отнести к экстремальным, по нашей оценке, составляют ~20–25% площади внеледниковой суши. Это области наиболее аридных пустынь, гор с холодным и/или очень сухим климатом, а также некоторые почвы в тропическом поясе. В областях Высокой Арктики и в Антарктике для почвенного покрова характерна не широтная зональность, а мозаично-островное географическое распространение почв.

Осознание экстремальности значительного числа объектов географии почв и их дальнейшее адекватное изучение будет способствовать развитию теоретического и методического направлений нашей науки, что положительно скажется и на изучении основных, неэкстремальных, почв Земли.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-27-00133 — концептуальное обобщение; проект 20-17-00212 — супрагляциальный класс экстремальности почв и солоидов; усовершенствование концепции).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полынов Б.Б.* Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах // Почвоведение. 1945. № 7. С. 327–339.
2. *Глазовская М.А.* Влияние микроорганизмов на процессы выветривания первичных минералов // Изв. Ак. наук Казах. ССР. Серия почвоведение. 1950. Вып. 6. С. 79–100.
3. *Weber B., Büdel B., Belnap J. (eds.)* Biological soil crusts: an organizing principle in drylands. Springer International Publishing, 2016. P. 3–13.
4. *Полынов Б.Б.* Кора выветривания. Л.: Изд-во АН СССР, 1934.
5. *Mergelov N., Mueller C.W., Prater I. et al.* Alteration of rocks by endolithic organisms is one of the pathways for the beginning of soils on Earth // Scientific Reports. 2018. V. 8. P. 1–15.
6. *Сычёва С.А., Седов С.Н., Погосян Л.А., Соллейро-Робледо Э.* Этапы экстремального и оптимального развития ландшафтов центральной Мексики за последние 40 000 лет. М.: Медиа-пресс, 2016.
7. *Таргульян В.О., Мергелов Н.С., Горячкин С.В.* Почвоподобные тела на Марсе // Почвоведение. 2017. № 2. С. 205–218.
8. *Pieters C.M., Noble S.* Space weathering on airless bodies // J. Geophysical Research: Planets. 2016. V. 121. № 10. P. 1865–1884.
9. *Krasilnikov P., Ibañez Marti J.-J., Arnold R., Shoba S. (eds.)* Handbook of soil terminology, correlation and classification. London: EARTHSCAN, 2009.
10. *Докучаев В.В.* Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв // Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть. СПб., 1886. Вып. 1.
11. *Фридланд В.М.* Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986.
12. *Соколов И.А.* Что такое почва и что такое почвоведение? // Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. С. 9–22.
13. *Таргульян В.О.* Экзогенез и педогенез: расширение теоретической базы почвоведения // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1983. № 3. С. 33–43.
14. *Толчельников Ю.С.* О сущности понятия “почва” // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1985. № 3. С. 52–58.
15. *Дмитриев Е.А.* Почва и почвоподобные тела // Почвоведение. 1996. № 3. С. 310–319.
16. *Vockheim J.G. (ed.)* The soils of Antarctica. Springer, 2015.
17. *Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н. и др.* Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: АПР, 2016.
18. *Семиколенных А.А., Спиридонова И.А., Туюкина Т.Ю. и др.* Экстремальные экосистемы и почвы открытых гипсово-карстовых ландшафтов тайги европейского севера. М.: Медиа-Пресс, 2015.
19. *Khormali F., Monger C.* Hot desert soils – Global distribution and unique characteristics // Geoderma Regional. 2020. V. 23. e00330.
20. *Артамонова В.С., Бортникова С.Б.* Почвоподобные образования техногенных ландшафтов: история изучения, терминология, современные аспекты (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 4–13.
21. *Горячкин С.В., Мергелов Н.С., Таргульян В.О.* Генезис и география почв экстремальных условий: элементы теории и методические подходы // Почвоведение. 2019. № 1. С. 5–19.
22. *Горячкин С.В.* Почвоведение и география почв экстремальных условий — проблемы и перспективы развития // Комплексные научные исследования и сотрудничество в Арктике: взаимодействие вузов с академическими и отраслевыми научными организациями. Материалы Всероссий. конф. с международным участием. Архангельск: САФУ, 2015. С. 79–82.
23. *Долгих А.В., Александровский А.Л.* Почвы и культурный слой Великого Новгорода // Почвоведение. 2010. № 5. С. 515–526.

24. Гольева А.А., Бондарева Ю.А. Почвы археологических памятников в лесной зоне как почвы катастроф // Лесоведение. 2017. № 3. С. 205–211.
25. Еськов А.К., Абакумов Е.В., Тиунов А.В. и др. Агеотропные воздушные корни – улавливатели гнездовых эпифитов и их роль в формировании подвешенных почв // Журнал общей биологии. 2017. № 3. С. 54–68.
26. Мергелов Н.С., Горячкин С.В., Зазовская Э.П. и др. Ледники и почвообразование: супрагляциальные и перигляциальные органоминеральные системы // Почвоведение. 2022 (в печати).
27. Зазовская Э.П., Мергелов Н.С., Шишков В.А. и др. Криокониты как факторы развития почв в условиях быстрого отступления ледника Альдегонда, Западный Шпицберген // Почвоведение. 2022. № 3. С. 281–295.
28. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Гитарский М.Л., Блинов В.Г. (ред.). Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов: Амрит. 2017.
29. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. 2014. FAO, Rome.
30. Kovda I., Goryachkin S., Lebedeva M. et al. Vertic soils and vertisols in cryogenic environments of southern Siberia, Russia // Geoderma. 2017. V. 288. P. 184–195.
31. Abakumov E.V., Koptseva E.M. Ecogenesis and primary soil formation on the East European Plain. A review // Folia Oecologia. 2022. V. 49 (1). P. 51–60.
32. Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Губин С.В. Палеопочвенный комплекс в кровле михайловского горизонта (визейский ярус нижнего карбона) на территории южного крыла Московской синеклизы // Палеонтологический журнал. 2016. № 4. С. 5–20.
33. Семиколенных А.А., Таргульян В.О. Почвоподобные тела автохемолитотрофных экосистем пещер хребта Кугитангтау (Восточный Туркменистан) // Почвоведение. 2010. № 6. С. 658–672.
34. Геннадиев А.Н., Гентнер А.Р., Жидкин А.П. и др. Экзотемпературные и эндотемпературные почвы Исландии // Почвоведение. 2007. № 6. С. 661–675.
35. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2-nd edition. Agricultural Handbook 436. Natural Resources Conservation, 1999.