

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.48

ПАМЯТЬ ПОЧВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

© 2019 г. В. О. Таргульян¹, М. А. Бронникова¹, *

¹Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

*e-mail: mbmsh@mail.ru

Поступила в редакцию 29.05.2018 г.

После доработки 18.06.2018 г.

Принята к публикации 19.09.2018 г.

Освещается современное состояние проблемы памяти почв. Представлен краткий обзор работ последних двух десятилетий, посвященных почвам, как информационной системе, поведению почв во времени, реконструкциям изменений среды, основанных на анализе почвенной записи. Изложены теоретические основы концепции памяти почв как способности записывать в устойчивых свойствах твердой фазы факторы и процессы своего формирования. Рассмотрены почвенная память как потенциальная способность записывать условия среды, механизмы записи, накопления и сохранения информации, носители почвенной памяти и методы их исследования. Описаны две основные модели распределения памяти и записи в почвенном профиле при эволюции среды и почвы: модель с увеличением почвообразующего потенциала климата и биоты и модель с уменьшением этого потенциала. Предлагается понятие “памяти геосистем”. Обсуждены блоки памяти геосистем ранга подсистем и отдельных объектов внутри подсистем; носители памяти и индикаторы среды для каждого блока памяти. Наибольшие перспективы развития концепции памяти почв видятся в расширении спектра методов, используемых для исследования вещества твердофазного каркаса почв, а также в неразрывной связи исследований компонентов, элементов строения почвенного тела с его иерархическими морфогенетическими исследованиями.

Ключевые слова: почвы во времени, почвенная память, почвенная запись, палеопочвоведение, полигенетичность почв, эволюция почв, индикаторы среды

DOI: 10.1134/S0032180X19030110

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПАМЯТИ ПОЧВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

В конце XX, и особенно в начале XXI века географы все больше акцентируют исследовательский интерес на поведении геосистем и их компонентов во времени. Все более актуальными становятся фундаментальные проблемы развития и эволюционных изменений компонентов природной среды, ретроспективные и прогнозные исследования частных геосистем, а также региональные и глобальные обобщения состояния геосистем в разные периоды их истории. В практику палеогеографических исследований все больше входит холистический подход, основанный на понимании глобальной геосистемы Земли как географической оболочки, состоящей из взаимодействующих и постоянно взаимодействующих сфер: атмо-, гидро, гео-, био- и педосферы, а также динамики геосистем как результата взаимодействия компонентов географической оболочки, представляющего по словам Геннадиева и Бокхейма “великую симфонию сфер” [33].

Почва – результат взаимодействия планетарных оболочек, один из компонентов геосистем, обладающих механизмами записи и сохранения информации о состоянии природной среды, и один из немногих, для которых разработана терминологическая, теоретическая и методологическая база, обобщающая представления о механизмах и процессах записи информации, ее накопления и трансформации во времени, а также о подходах к ее расшифровке, интерпретации. Становление и развитие учения о памяти почв, о почве и почвенном покрове как особом носителе и накопителе информации об эволюции и взаимодействиях биосферы, геосферы и общества – одна из важнейших вех в развитии генетического почвоведения. Осознание почвы как источника информации о событиях прошлого, было заложено еще в работах В.В. Докучаева, который назвал почву зеркалом ландшафта. Один из классиков палеопочвоведения Грегори Реталлак в недавнем кратком историческом обзоре развития представлений о почвах прошлого отмечает, что палеопочвы привлекали внимание исследователей и

описывались в научных публикациях уже в XVIII–XIX вв., еще до становления генетического почвоведения как науки [45]. Основателями раздела генетического почвоведения, изучающего почву прошлого как продукт палеосреды и источник информации о ее состояниях – палеопочвоведения, можно считать К.Д. Глинку, впервые обосновавшего значение погребенных и реликтовых дневных почв для реконструкции среды [13]; Б.Б. Полынова, который ввел время в число факторов почвообразования, обобщил результаты первых исследований палеопочв и предложил термин “палеопочвоведение” [21] и К.К. Никифорова – ученика Н.М. Сибирцева, иммигрировавшего в США и активно внедрявшего идеи Докучаевского генетического и исторического почвоведения за рубежом, опубликовавшего в 1943 г. небольшую работу, обозначившую предмет и задачи палеопочвоведения [43]. Никифоров также первый употребил понятие памяти по отношению к почвам [44]. Он определил почвенную память как способность почв запоминать свое прошлое. Представления Докучаева и его последователей о почве, как о зеркале ландшафта, были оформлены в концепцию памяти почв в 70-х годах прошлого века [25, 29]. Сегодня концепция памяти почв является теоретическим фундаментом для всех областей современного почвоведения, имеющих дело с поведением почвенных систем во времени и их состоянием в прошлом: эволюционного почвоведения, палеопочвоведения и археологического почвоведения. Теоретические основы и эмпирическое наполнение этой концепции в настоящее время продолжают активно развиваться и углубляться. Авторы не ставят перед собой в данной статье задачи анализа всего объема и разнообразия исследований, касающегося информационной функции почв и их поведения во времени. Ниже представлен краткий обзор развития этого направления в почвоведении в последние два десятилетия, позволяющий осознать достигнутые рубежи и перспективы развития этого направления исследований.

Десять лет назад во введении к монографии “Память почв” [28] было отмечено возникшее в начале XXI века противоречие в развитии фундаментального почвоведения: застой в генетико-географических исследованиях почв и почвенного покрова на фоне все возрастающего интереса к исследованиям недавнего и очень далекого прошлого почвенных систем, их эволюции в меняющихся условиях среды. За последнее десятилетие эти тенденции стали еще более выраженными, как в российском почвоведении, так и в международном научном сообществе. Исследования поведения почв во времени – сегодня одно из наиболее активно развивающихся направлений фундаментального генетического почвоведения. Количество таких работ в международной периодике из-

меряется, по всей видимости, первыми десятками тысяч. Среди публикаций только лишь незначительная часть посвящена теоретическим вопросам памяти и эволюции почв, остальные работы представляют собой эмпирические исследования палеопочв и обобщения в области палеопочвоведения. Так, в международной базе данных ScienceDirect одного из издательств научной литературы Elsevier (база включает публикации в периодике и монографии, опубликованные с 1994 г. по настоящее время) на запрос по ключевым словам “soil memory” выдается 72 публикации, причем только часть из них имеет отношение к проблеме памяти почв, и совсем не многие касаются непосредственно развития концепции. На запрос “soil evolution” выдается 850 публикаций. Основная же масса работ, посвященных развитию почв во времени относится к сфере палеопочвоведения. Все возрастает количество работ, рассматривающих палеопочвы различных периодов: от голоцена до протерозоя и даже архея [46]. На запросы “palaeosols” и “paleosols” (первый, исходно британский, вариант написания постепенно устаревает и уступает место второму, американскому, но оба до настоящего момента используются в международных публикациях) и гораздо более редко используемые “palaeosoils”, “paleosoils” приходится в общей сложности около 14.5 тыс. работ. С конца 90-х гг. XX столетия до настоящего времени количество палеопочвенных публикаций в год увеличилось примерно в 3 раза. К настоящему моменту в мировом палеопочвоведении сложилось несколько наиболее активно работающих и публикующихся на международном уровне национальных школ со своими лидерами и приоритетными направлениями исследований: в Германии, США, России, Китае, Мексике, Италии, Польше. Среди палеопочвенных работ абсолютно преобладают исследования частных профилей палеопочв, почвенно-литологических серий и/или палеопризнаков в дневных почвах [1, 4, 17, 24, 53–55]. Исследуются почвы дневных хронорядов [31, 50, 51]. Очень активно развиваются, углубляются и расширяют тематику почвенно-археологические исследования антропогенно-измененных и антропогенных палеопочв и педолитоседиментов, а также природных почв, погребенных антропогенными насыпями (курганы, оборонительные сооружения и др.) [3, 32, 36, 37, 39, 42].

Часто работы, касающиеся прошлого почвенных и почвенно-осадочных систем, не рассматривают комплексно организацию, состав и генезис почвенных тел и разделение их отложений, а исследуют отдельные “носители почвенной памяти”, “маркеры”, “индикаторы” изменений среды в прошлом: различные биомаркеры: лигнины, полисахариды и др., изотопный состав, состав биоморф, характеристики органического вещества,

элементы микростроения, минералогический состав и т. д.

Обобщающих работ, рассматривающих почвы определенных отрезков времени в географическом аспекте, или развитие во времени почв, или почвенных покровов определенных территорий пока остается очень немного [6–8, 14, 16, 23, 26, 27]. Из крупных теоретических обобщений проблем развития почв во времени можно отметить коллективную монографию Рихтера, Маркевича “Understanding soil change: soil sustainability over millennia, centuries, and decades” [47], монографию по эволюции почв Александровского, Александровской [2], коллективную монографию российских авторов по эволюции почв [20]. На последней остановимся более подробно. В этом объемном издании отражено пространственно-временное разнообразие почв планеты. Здесь представлен первый в мире ретроспективный обзор почв геологической истории Земли и соответствующих им условий среды: от архея до голоцена. В этом же издании содержится самое большое из имеющихся на настоящее время, собрание региональных обобщений, рассматривающих голоценовую историю почв и ландшафтов России и некоторых сопредельных государств. Среди рассмотренных территорий – различные районы Восточно-Европейской равнины: от тундр до полупустынь, Западно-Сибирской равнины и равнины Средней Азии, в том числе некоторых районов Казахстана, Якутии: от северных приморских низменностей до Центрально-Якутской низменности, предгорий и низкогорий юга Средней Сибири, ряда горных областей Евразии: Памиро-Алая, Тянь-Шаня, Кавказа, Хибинского массива.

При очень активном наполнении в последние декады знания о развитии почвенных систем во времени эмпирическим материалом, теоретические разработки, развивающие концепцию почвы как записывающей и запоминающей системы, остаются единичными [28, 41, 47–49]. Недостаточно еще осмыслены механизмы и особенности записи информации о состоянии среды в почвах, мало внимания уделяется разработке подходов к “дешифрированию” почвенной памяти, сопоставлению информативности, чувствительности, емкости различных носителей почвенной памяти, сравнению памяти почв с памятью других записывающих систем.

На наш взгляд, наметившийся дефицит работ, обобщающих лавинообразно накапливающийся эмпирический материал, и назревшая необходимость дальнейших теоретических разработок – наиболее важные черты современного состояния проблемы развития почвенных систем во времени и концепции памяти почв. Интересно отметить, что в одной из основополагающей статей середины 80-х гг. прошлого века, посвященной тео-

ретическим проблемам развития почв во времени, была отмечена противоположная тенденция: существенное превышение темпов разработки теоретических вопросов эволюции почв над скоростью накопления новых фактических данных [9]. Автор статьи высказывал опасения, что “при сохранении такого положения может возникнуть ситуация отрыва концептуальных построений от эмпирической основы”. Сейчас можно констатировать, что эти, казавшиеся неблагоприятными тенденции развития данной области в конце XX в., успешно преодолены, и почвенное сообщество подошло в своем понимании поведения почв во времени к следующей ступени развития: необходимости глобальных обобщений и дальнейших теоретически разработок.

Ниже мы кратко рассмотрим основные положения концепции памяти почв в их сегодняшнем понимании, и далее предпримем попытку интеграции имеющихся представлений о разных типах записи изменений геосистем и их компонентов во времени.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ “ПАМЯТИ ПОЧВ”

Основы концепции, почвенная память и почвенная запись. По существу, концепция памяти почв является попыткой переосмысления теоретического и эмпирического багажа генетического почвоведения в свете современных общенаучных представлений: общей теории систем, синергетики и теории самоорганизации сложных систем, представлений о потоках информации в природных системах, о разных способах записи информации в природных телах и оболочках Земли, о развитии геосистем и их компонентов во времени.

В самом широком смысле слова память небологических объектов – это совокупность процессов приема, преобразования и хранения информации. Понятие памяти почвы, как развивающейся во времени системы, можно очень кратко определить, как способность запоминать свое прошлое. Эта способность может быть потенциальной, нереализованной (есть потенциальная способность запоминать, но память еще не заполнена информацией), или же реализованной и тогда часто, наряду с понятием “память”, употребляется понятие почвенной записи (soil record). В основе представлений о памяти почв, почве как записи факторов и процессов, лежит осознание эмпирических соответствий между наблюдаемыми факторами почвообразования и свойствами почв.

“Запоминание” заключается в образовании, длительном ($n \times 10^2$ – 10^4 – 10^6 лет) накоплении и сохранении в теле почвы устойчивых твердофазных соединений и образованных ими элементов морфологического строения. Эти соединения и мор-

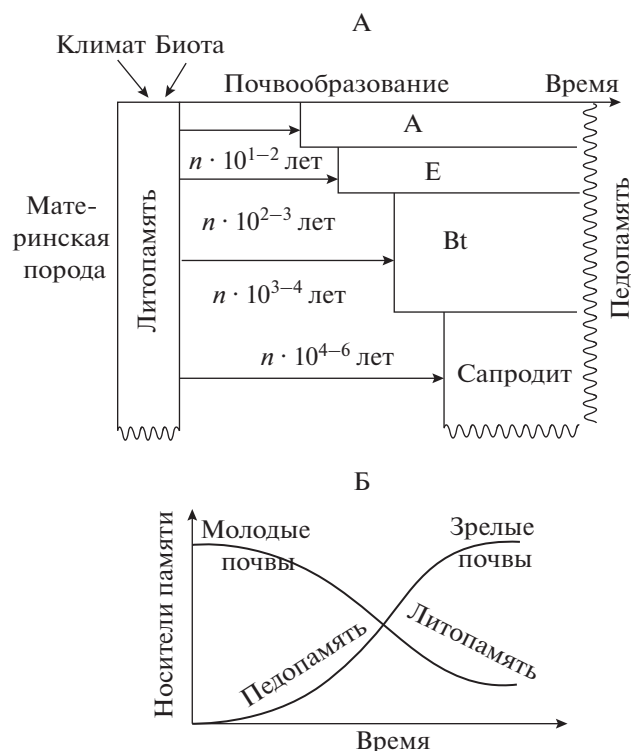


Рис. 1. Взаимоотношение литопамяти и педопамяти в процессе почвообразования: А – характерные времена формирования разных горизонтов почв в гумидных областях; Б – накопление признаков педопамяти и стирание признаков литопамяти (по [27]).

фологические элементы появляются как результат взаимодействия во времени потоковых, активных “проникающих” факторов почвообразования – климата и биоты – с пассивными, “воспринимающими” и перераспределяющими факторами – материнской породой и рельефом. Везде, где происходит такое взаимодействие, возникает многофазная (по Роде: атмо-гидро-био-лито) почвенная система и начинается ее “жизнь”, то есть функционирование системы. Огромное количество разнообразных реакций взаимодействия (микропроцессов по Роде [22]) запускается и продолжает действовать в почве. Почвенные системы, как и большинство открытых природных систем, не работают по принципу “безотходных технологий”, и их нормальное функционирование порождает целый спектр не полностью замкнутых микропроцессов, результатом которых являются остаточные продукты: газообразные, жидкие и твердые. В отличие от газовых и жидких продуктов, которые относительно быстро обновляются и выводятся из почвы, твердофазные продукты функционирования, в основном, удерживаются и накапливаются внутри почвенной системы: гумус и вторичные педогенные минералы, почвенные новообразования (железо-марганцевые и карбо-

натные конкреции, кутаны (пленки) различного состава на зернах, агрегатах и в порах, копролиты и др.), новообразованная почвенная структура, поры и трещины разного генезиса и др. Каждый индивидуальный, не полностью замкнутый микропроцесс образует очень малые, аналитически неопределимые количества остаточного твердофазного продукта. Многократное повторение таких микропроцессов на протяжении длительного функционирования почвенной системы (десятки, сотни, тысячи и более лет) постепенно приводит к накоплению макроколичеств твердофазных продуктов и к формированию хорошо выраженных педогенных признаков в твердой массе почв, которые вполне определенно выявляются и морфологически, и аналитически. Образование, отбор на устойчивость, накопление и внутрипочвенное распределение твердофазных продуктов функционирования почвенной системы составляют сущность элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП по Герасимову [10]), частных макропроцессов (по Роде [22]), или специфических почвообразовательных процессов (Specific pedogenic processes [34]), таких как глинообразование, лессиваж, оподзоливание, оглеение, выщелачивание, ферраллитизация, сегрегация, агрегация и многие другие. Именно эти процессы изменяют твердую фазу материнской породы (литоматрицу почвенной системы) и формируют закономерно организованные ансамбли твердофазных педогенных признаков и свойств в вертикально-анизотропных почвенных профилях и латерально-анизотропных почвенных покровах (твердофазные педоматрицы многофазных почвенных систем). Так осуществляется запись информации о факторах почвообразования и процессах функционирования системы на устойчивых носителях почвенной памяти.

При анализе почвенной записи необходимо принимать во внимание, что исходные материнские породы (и элювий плотных коренных пород-, и рыхлые осадочные, и антропо-техногенные отложения) не являются “чистой страницей” (tabula rasa) для почвенной памяти. В 0-момент почвообразования любая материнская порода обладает собственной литогенной памятью о процессах своего формирования, записанной в ее морфологии, составе, структуре и текстуре. Признаки литопамяти полностью наследуются почвенной системой в 0-момент педогенеза и затем или трансформируются, или постепенно стираются, иногда вплоть до полного замещения признаками педопамяти, или частично наследуются почвенной памятью (рис. 1, А). На протяжении педогенеза соотношение лито- и педопамяти постепенно меняется: доля педопамяти нарастает, доля литопамяти уменьшается (рис. 1, Б). Литопамять существенно преобладает: а) во всех молодых почвах в любом климате и под любой растительно-

стью; б) в клима-, био-, топо-, литоэкстремальных почвах: холодных, мерзлотных, аридных, лимитированных по биоте, например под бескорневой растительностью, развитых в пещерах, на склонах экстремальной крутизны, на бедных, устойчивых к выветриванию (кварциты, кварцевые пески, пегматиты и др.), или токсичных породах, где интенсивность педогенеза и выветривания невелика из-за низкого экзогенного потенциала.

Важно подчеркнуть, что понимание памяти почв как одного из компонентов геосистем стимулирует также размышления о том, как такая накопленная память определяет текущее и может определять будущее поведение почв и геосистем в целом во времени. Подобно тому, как мы пытаемся понять, как память человека и/или общества влияет на его поведение в настоящем и будущем.

Нередко в мировой и отечественной литературе наряду с понятием “память почв” употребляется выражение “почва–архив”. Понятие архива подразумевает некое хранилище документов, главной целью которого является их сохранение в неизменном виде. Представление о почве как об архиве может быть частично верным для погребенных почв, но никак не подходит к “живым” почвам на дневной поверхности, память которых на протяжении времени непрерывно или периодически меняется. Трудно представить себе архив, в котором предыдущие документы меняются под влиянием вновь поступающих.

Близко к почве–архиву стоит представление о почве как о книге, о летописи. Опять же, оно может быть справедливо по отношению к сериям погребенных палеопочв, в которых от погребения к погребению записывались изменения факторов и процессов почвообразования. Но все же представления о книгоподобной записи событий в гораздо большей степени подходит к толщам осадочных пород, где каждый слой осадка записывает и запоминает природные условия определенного периода времени осадконакопления.

Особенности записи в почвенном профиле: дифференциация по глубине, палимпсестная и книгоподобная запись. Запись информации о факторах и процессах почвообразования в твердофазной памяти почвы зависит от модели педогенеза, то есть от расположения фронта действия агрессивных проникающих факторов по отношению к материнской породе и от соотношения процессов педогенеза (выветривания), как инситуальных процессов изменения породы, процессов денудации твердой фазы почвы, и/или аккумуляции твердых частиц на поверхности почвы как результата флювиального, эолового, вулканического литогенеза.

В классической модели педогенеза все факторы и процессы действуют сверху вниз, и во времени это означает распространение записи в глуби-

ну. Как правило, в верхних горизонтах действует наибольшее разнообразие факторов: дожди разной частоты и интенсивности, слабые и сильные изменения температуры, мелкие и глубокие корни, разные группы почвенной биоты, агротехнические обработки разной глубины и т. д. Такое разнообразие факторов вызывает, вероятно, и наибольшее разнообразие процессов и, соответственно, наибольшее разнообразие и детальность записи.

С глубиной происходит пассивный отбор факторов и процессов, то есть наиболее “слабые”, наименее проникающие факторы и процессы (легкие заморозки, слабые дожди, мелкие корневые системы и др.) работают и осуществляют запись наверху. В глубину проникают более “сильные” факторы и процессы: влага снеготаяния и дождливых сезонов, более сильные, сезонные и годовые волны тепла и холода, глубокие корни растений, глубокоразрушающие беспозвоночные и позвоночные, глубокая пахота. Число и разнообразие таких более сильных факторов и процессов с глубиной сокращается – соответственно сокращается разнообразие и детальность записи внешней среды; в наиболее глубоких горизонтах почвы записываются лишь наиболее мощные факторы и процессы: наибольшие суммы осадков в аномально влажные годы, глубокие корни древесных растений, плантаж и террасирование.

Специфика памяти почв следует из особенностей понимания почв как био-экзогенных природных тел, образованных *in situ* на дневной поверхности. В классической или докучаевской модели почвообразования, когда фронт действия факторов расположен сверху, над дневной поверхностью, а денудация и аккумуляция твердого материала незначительна, – запись информации в почве происходит по правилу палимпсеста¹. Память почв – инситуная, точечная память, запоминающая взаимодействие факторов и процессы в каждой точке почвенного пространства, в одном и том же объеме (массе, количестве) вещества материнской породы (на одной “странице” пергамента) (рис. 2). Однако имеется немало частных случаев внутрипочвенной книгоподобной записи. Наиболее часто встречающимся типом внутрипочвенной книгоподобной записи являются слоистые почвенные новообразования: пленки на зернах, кутаны в порах различной морфологии и генезиса, “подвески” на частицах скелета различной размерности, интрузивные конкреции. Такие новообразования – результат внутрипрофильной/внутригоризонтной миграции веще-

¹ Палимпсест (греч. παλιμψηστον, от πάλλω – опять и ψητός – соскобленный) – древняя рукопись на пергаменте, написанная по смытому или соскобленному тексту. Палимпсестная запись – многократная запись на одном и том же листе, “носителе”.

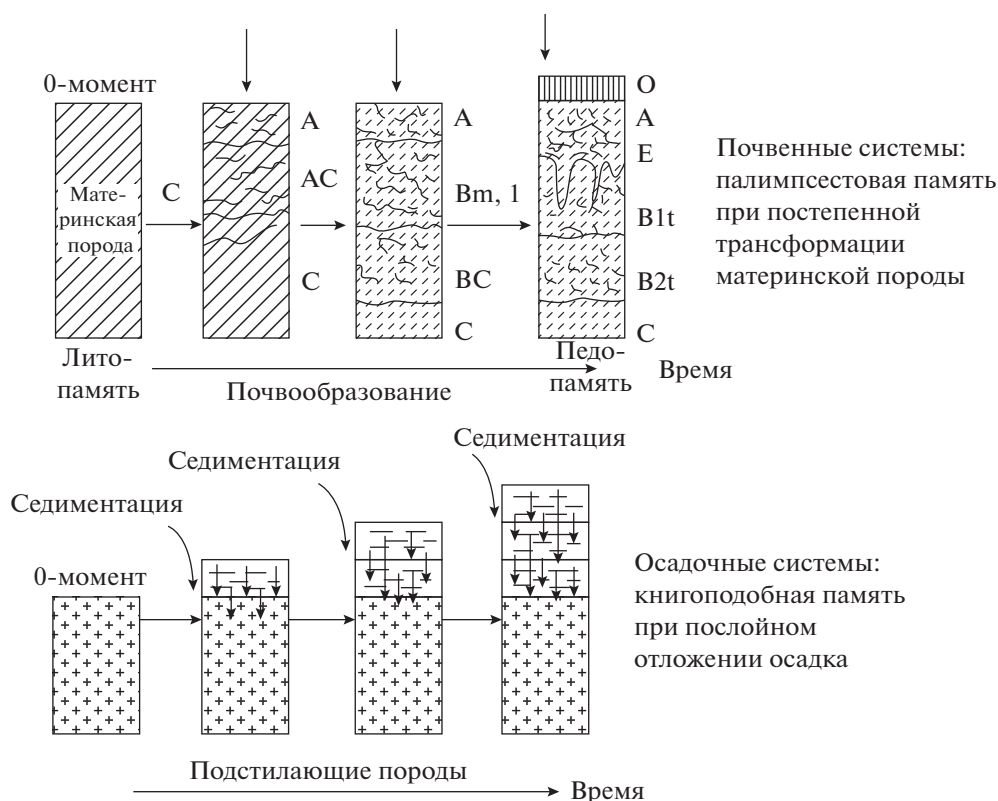


Рис. 2. Формирование почвенной и осадочной экзогенной памяти (по [27]).

ства. Каждый их слой определенной морфологии и состава соответствует определенному составу мигрирующих продуктов, определенным условиям миграции и аккумуляции (миграция в растворах, суспензиях, состав и концентрация растворов и суспензий, скорость движения, скорость и механизм осаждения). Вся совокупность этих характеристик в конечном итоге определяется сочетанием факторов почвообразования. Последовательность слоев различной морфологии и состава в таких новообразованиях представляет собой, по сути, книгоподобную “микроседиментационную” внутрипочвенную запись изменений условий среды в ходе почвообразования. На рис. 3 приведен пример такой внутрипочвенной книгоподобной записи в кутанах на щебне криоаридных почв. Для этих почв кутанный комплекс является очень важным, наиболее информативным блоком почвенной памяти. С его информационным “наполнением” можно ознакомиться на примере криоаридных почв юго-восточного Алтая [5].

Изменения памяти почв при климатической эволюции. Выше было описано распределение памяти и записи в классической и моногенетической модели почвообразования при стационарном состоянии внешней среды – факторов почвообразования. Однако в природе и, тем более, при антропогенном воздействии развитие почв во

времени имеет чаще всего полигенетический характер, то есть внешняя среда или факторы почвообразования изменяются во времени, и происходит эволюция почв вслед за изменением факторов. Это приводит к наложению памяти и записи позднейшего периода времени на память и запись предыдущего периода. При длительном и сложном саморазвитии или эволюции почвы такое палимпсестное наложение может происходить неоднократно. В таких случаях память почв представляет собой сложное сочетание более старых и более молодых “слоев” почвенной памяти. При этом может происходить как наложение молодых слоев на старые, так и полное или частичное стирание старых слоев молодыми. Иными словами, в живущей, функционирующей почве ее память не остается неизменной. Она постоянно или периодически изменяется, причем, по-разному в разных локусах почвенного тела (на поверхностях и внутренних частях агрегатов и педов, в разных по глубине горизонтах почвы) и с разной скоростью в разных позициях и в разные периоды жизни почвы. В этом проявляется сходство памяти почвы с памятью человека, которая тоже непрерывно и по-разному меняется на протяжении жизни. Однако, в отличие от человеческой памяти, память почв не “умирает”, если почва не уничтожается эрозией. Если почва по-



Рис. 3. Книгоподобная (микроседиментационная) память внутри почвенного тела: многослойная кутана с чередованием карбонатных различной морфологии (a-c₁₋₂) и гумусовых (d) слоев.

гребена в толще осадочных или вулканических пород, то она сохраняет (полностью или частично) свое тело и свою память. Память погребенных почв затем может изменяться различными диагенетическими, постпедогенными процессами. Под диагенетическими процессами Герасимов понимал процессы, преобразующие почву после погребения, под воздействием которых погребенная почва “разрушается, трансформируется, постепенно утрачивая и видоизменяя свои первоначальные свойства, а также приобретая некоторые новые”, диагенетические² [10]. Таким образом, погребенная почва, помимо литогенной и педогенной, обладает также памятью постпедогенных, диагенетических процессов. Разделение этих типов памяти, а также памяти разных фаз педогенеза в полигенетических профилях, представляет собой основную задачу палеопочвоведения.

Можно говорить о двух основных моделях распределения памяти и записи в почвенном профиле при эволюции среды и почвы: модель с повышением почвообразующего потенциала климата и биоты и модель с понижением этого потенциала. Понятие о почвообразующем потенциале климата и биоты было введено и описано ранее [28, 30].

Рассмотрим два основных случая климатической эволюции почв и соответственно изменения почвенной памяти и записи в классической (докучаевской) модели педогенеза.

Эволюция почв при повышении почвообразующего потенциала климата и биоты во времени происходит при потеплении климата и соответствующем изменении теплового режима почв, повышении годового количества осадков и усилении промывного водного режима почв; эти изменения определяют изменения напочвенной и почвенной биоты в сторону больших биопродуктивности и биоразнообразия, большего количества органической массы, поступающей на и в почву. Все эти изменения в факторах внешней среды интенсифицируют процессы выветривания и почвообразования и увеличивают мощность толщи, охваченной этими процессами. По мере такой эволюции почв все большее развитие получают процессы выноса веществ из почвенной толщи и элювиально-иллювиальные процессы в этой толще. На каждом новом этапе такой эволюции эти усиливающиеся процессы стирают, полностью или частично, следы предыдущих этапов эволюции или же усиливают их, то есть

“переписывают” память и запись в почве и создают новые горизонты и профили.

Эволюция почв при понижении почвообразующего потенциала климата и биоты во времени имеет место при похолодании климата и ухудшении теплового режима почв, снижении годового количества осадков и ослаблении промывного водного режима почв; при таких изменениях климата происходят изменения напочвенной и почвенной биоты в сторону меньших биопродуктивности и биоразнообразия, меньшего количества органической массы, поступающей на и в почву. Все эти изменения в окружающей среде приводят к снижению интенсивности почвообразования и выветривания, уменьшению мощности активной почвенной толщи. Это означает, что на каждом новом этапе эволюции “работают более слабые” процессы, которые неспособны стереть память и запись предыдущих этапов. Старая память и запись при этом не стирается, а модифицируется, новая запись накладывается на старую. Это наиболее яркие случаи палимпсестовой записи в памяти почвы — наследующая и наложенная эволюция почв. При этом вследствие сокращения мощности активной почвенной толщи (при уменьшении потенциала климата и биоты) нижняя часть почвенного профиля часто не охватывается текущим почвообразованием нового этапа эволюции почв и сохраняет многие элементы памяти и записи предыдущих этапов более активно и глубоко педогенеза.

Описанные выше закономерности изменения памяти и записи в двух случаях изменения потенциала климата и биоты в чистом виде выражены лишь в классической модели педогенеза, когда агрессивные факторы (климат и биота) действуют сверху. В случаях, когда к верхнему фронту факторов присоединяется действие латеральных (внутрипочвенный сток, крип и др.) или базальных (грунтовые воды) факторов, происходит наложение памяти и записи этих факторов и соответствующих процессов на память и запись вертикальных (или радиальных) факторов и процессов.

Поскольку почва является одним из важных компонентов геосистем, понимание памяти почв стимулирует также размышления о том, как такая накопленная память определяет текущее и может определять будущее поведение почв и геосистем в целом во времени. Подобно тому, как мы пытаемся понять, как память человека и/или общества влияет на его поведение в настоящем и будущем.

Носители памяти почв, скорость записи. Памятью обладают все или почти все компоненты почвенной системы во всех агрегатных состояниях: газообразные, жидкие, твердые, биотические и абиотические. Заметим, что здесь не рассматривается собственно-биологическая наследственно-генетическая память почвенной биоты. Если

² И.П. Герасимов впервые предложил понятие диагенетических изменений и диагенетических процессов для погребенных почв в 1971 г. Это понятие, безусловно, не соответствует геологическому понятию диагенеза. Однако термин был достаточно четко определен Герасимовым, понятие прочно утвердилось и широко используется в работах, касающихся развития почв во времени, погребенных палеопочв, в том числе в недавних крупных обобщениях [20].

памятью обладают все абиотические фазы почвенной системы, то скорость записи-запоминания зависит от плотности и степени лабильности фазы и убывает в ряду газы—влага—твердая фаза. В этом же ряду возрастает сохранность (устойчивость) записи во времени. Чем быстрее обновляется вещество фазы, тем короче его память. Память почвенных газов и почвенных растворов, в целом, коротка, хотя и зависит от их расположения в почвенной толще по глубине: наиболее короткая память ($n \times 1$ сут) у газов и растворов в верхних горизонтах, наиболее длинная — в глубоких горизонтах, на глубинах 2–3 м, где обновление газов и растворов (вне зоны почвенно-грунтовых вод и эманации газов) может происходить в течение недель и даже месяцев. Далее будет рассматриваться только память твердой фазы почв, записывающая информацию за десятки, сотни и тысячи, вплоть до миллионов лет (коры выветривания).

Понятие носителей почвенной памяти в некоторой степени неоднозначно. Под носителями памяти почв понимают твердофазные компоненты и структуры почвенных тел и почвенных покровов, а также свойства и признаки почвенного тела и его компонентов, которые содержат информацию о состоянии среды (в момент формирования соответствующего признака) [28]. Последние также называют индикаторами условий среды. В англоязычной литературе в последние годы для обозначения индикаторов природных изменений в почвах и других компонентах геосистем широко распространился термин (climate, environmental) proxies, или proxy indicators, который чаще всего употребляется как синоним к marker, indicator of climatic (environmental) change, хотя иногда используется и в понятии record — запись, память. В широком смысле *носители почвенной памяти — это любые компоненты твердой фазы, элементы строения почв на всех иерархических морфологических уровнях их организации: от наночастиц до почвенного тела (профиля) и почвенного покрова. В индивидуальных характеристиках компонентов твердой фазы — носителей памяти, а также в интегральных характеристиках вещественного состава и свойств почвы и элементов ее строения: минералогического, гранулометрического, химического, изотопного и т. д., записывается информация о процессах формирования и соответствующих им условиях.* Носителями почвенной памяти являются педогенные, образованные или трансформированные специфическими почвенными процессами твердофазные признаки, литогенные признаки, унаследованные от литопамати (память о допочвенных процессах) и постпедогенные — образованные в период диагенеза, после прекращения функционирования почвы при ее погребении. Педогенные носители памяти в почве могут быть генетически непосредственно

связанными с тем или иным специфическим почвенным процессом, как, например, почвенные новообразования (глинистые, гумусовые, карбонатные, опаловые кутаны, железисто-марганцевые, карбонатные нодулы, гипсовые “розы” и др.), или характер распределения некоторых веществ в почвенном профиле (карбонатный, гумусовый, солевой профили, профиль содержания илистой фракции). Другие носители информации связаны с процессами почвообразования лишь опосредованно, но имеют непосредственное отношение к тем или иным характеристикам локальных условий среды. К таким носителям, прежде всего, относятся так называемые биомаркеры: фитоциты, пыльцевые зерна, семена, почвенный гумус, неспецифические органические соединения: лигнины, полисахариды, жирные кислоты и др. Каждый из носителей памяти почв обладает определенной сенсорностью (чувствительностью) к изменениям факторов среды: способностью реагировать на изменения среды изменениями состава и свойств и рефлекторностью — способностью эти изменения “отражать”, фиксировать, “запоминать” в виде устойчивых твердофазных признаков. Сенсорность чаще всего избирательна. Так, например, признак может быть, чувствительным к изменениям окислительно-восстановительного потенциала и совершенно не отзываться на изменения температур и атмосферного увлажнения. Из сенсорности и рефлекторности носителей памяти складываются сенсорность и рефлекторность почвенного тела.

Можно рассматривать носители памяти в иерархическом порядке. Первый уровень представлен индивидуальными аморфными соединениями (органическими молекулами, хелатами, аморфными минералами — опалом, аллофанами и др.) и индивидуальными частицами или агрегатами кристаллических минералов. На этом уровне химический состав и строение органических и органо-минеральных молекул отражает соотношение процессов образования и разложения органического вещества и его взаимодействия с минеральными частицами в почве, что, в свою очередь, зависит от типа растительности, от гидротермических режимов климата и ряда других факторов. На этом же уровне можно рассматривать поверхности зерен, которые могут отражать допочвенные процессы, такие, например, как матирование зерен (потеря блеска за счет микронарушений поверхности, возникающих в результате соударения зерен) при ветровом переносе, а также различные почвенные процессы. Среди последних выделяются: травление поверхностей силикатов (полевых шпатов, пироксенов); формирование автохтонных пленок на зернах, например, в результате оглинивания или ожелезнения; формирование аллохтонных пленок вокруг зерен в результате внутрпочвенной миграции и

аккумуляции соединений железа, гумуса, глины в гумидном климате при промывном режиме, карбонатов, гипса и других солей в семиаридных и аридных условиях. На этом же уровне иерархии могут рассматриваться очень информативные биоморфные микроскопические остатки живых организмов, размерностью <0.1 мм, носители почвенной памяти, объединенные в понятие “микробиоморфы”: споры, пыльца, плоды, отдельные фрагменты фито и зообиоты [15, 19].

Огромным по информационной емкости является следующий уровень организации – педной (агрегатной) структурной памяти почв или почвенной архитектуры (soil architecture, [58]). Именно на этом уровне организации наиболее ярко проявляется феномен резких различий в почвенной записи на поверхностях раздела и во внутренних частях любых обособлений твердофазной массы почв, впервые четко описанный Козловским и Горячкиным [18]. Запись на поверхностях раздела (в случае агрегатного уровня организации – на поверхностях педов) более лабильная, более чувствительна по отношению к действующим факторам, процессам и их изменениям, формируется быстрее, но и легче стирается. Во внутripедной массе она более инертна; внутripедная масса фиксирует информацию существенно медленнее, чем поверхности раздела, но зато и удерживает такую запись намного дольше в процессах эволюции почв.

Следующий иерархический уровень почвенной памяти – уровень почвенных горизонтов. Формирование определенных диагностических горизонтов в почвенном профиле (органо-аккумулятивных, элювиальных, иллювиально-альфегумусовых, иллювиально-глинистых, глеевых, карбонатных, ферраллитных и др.) записывает действие различных сочетаний специфических почвенных процессов, формирующих эти горизонты, и соответственно взаимодействие различных сочетаний климатических, биотических, геолитологических факторов, генерирующих эти специфические почвенные процессы.

За уровнем генетических горизонтов следует, пожалуй, наиболее важный, основополагающий уровень организации почвенной системы, а, соответственно, и памяти почв – почвенный профиль – парагенетическая ассоциация горизонтов, соответствующая конкретному сочетанию факторов почвообразования.

Более высокими уровнями почвенной памяти являются разномасштабные уровни организации почвенного покрова: локальные почвенные комплексы, сочетания и комбинации, региональные, внутризональные и межзональные покровы, континентальные почвенные покровы, вплоть до педосферы Земли в целом. Эти уровни записывают в разных масштабах пространственное разнообра-

зие различных сочетаний биоклиматогенных, геогенных, антропогенных и возрастных факторов почвообразования, а также степень участия латеральных геохимических, седиментационных и/или эрозионных процессов в формировании почвенного покрова.

МЕТОДЫ ЧТЕНИЯ ПАМЯТИ ПОЧВ

Итак, почва формирует, воплощает свою осуществленную, накопленную память, или запись о процессах и условиях своего формирования в виде твердофазного, трехмерного, иерархически организованного почвенного тела. Внутренняя организация этого тела и всех его компонентов, а также характеристики их состава и свойств и являются носителями памяти почв, или индикаторами состояния/изменений среды. Чтение памяти представляет “обратный ход” от почвенных признаков – носителей почвенной памяти, индикаторов среды к факторам почвообразования (условиям среды). То есть задача исследователя состоит в поиске в почвенном теле морфологических, или аналитически определяемых признаков, сформированных тем или иным почвенным процессом, реконструкции набора признаков и условий среды, соответствующих каждому из этапов почвообразования, датирование этапов почвообразования. Последняя задача для моногенетических почв заключается в датировании всего периода почвообразования, для полигенетических, по возможности – в датировании отдельных признаков, или групп признаков, или хотя бы реконструкция последовательности формирования признаков в почвенном теле. Для датирования почв, а иногда – их отдельных генетических признаков чаще всего применяют радиоуглеродный метод. Проблема возраста почв, их отдельных горизонтов и признаков, включает много сложных, порой дискуссионных методологических аспектов и остается одной из ключевых, во многом еще нерешенной в исследованиях поведения почв во времени. Вопросы радиоуглеродного датирования в исследованиях памяти почв подробно рассмотрены, в частности, в соответствующей главе монографии “Память почв” [28].

Методологической основой исследований почвенного тела при анализе памяти почв является иерархическое морфосубстантивное исследование твердофазного каркаса почв, основанное на детальном изучении морфологических признаков и состава почвы и ее компонентов последовательно на макро-, мезо-, микро- и субмикроуровне организации твердофазного каркаса почвы. Такой подход позволяет получить исчерпывающую информацию об устройстве, составе и свойствах почвенного тела, и, соответственно, о процессах и условиях его формирования. Подходы к иерархическому морфосубстантивному анализу и рас-

смотрение особенностей каждого иерархического уровня описаны ранее [12, 28].

Морфологический анализ почвенного тела на полевом этапе, где проводится первичная диагностика парагенетической ассоциации почвенных горизонтов (почвенного профиля), то есть типа педогенеза — основа понимания генезиса почвы. Исследования морфологии на последующих иерархических уровнях позволяют верифицировать, уточнить и детализировать результаты полевой диагностики. Одним из важнейших преимуществ морфологических методов исследования почвенной памяти является работа с непосредственными конкретными педогенными морфологическими признаками, сформированными конкретным процессом, или совокупностью процессов. В этом случае путь реконструкции признак → процесс → фактор получается более прямым, чем при использовании для реконструкции этой последовательности интегральных характеристик почвенного профиля, таких, например, как валовой химический, или минералогический состав почв, распределение и содержание в них карбонатов, распределение и состав гумуса и т. п. Второе преимущество — возможность реконструкции последовательности процессов, основанная на исследовании пространственно-временного соотношения признаков. Уже на полевом этапе можно делать некоторые заключения о последовательности процессов, на следующих же иерархических уровнях предоставляются все более широкие возможности для реконструкции этой последовательности. Кроме того, уровни исследования, использующие увеличительную технику (от лупы до электронного микроскопа) предоставляют возможность диагностики на уровне микропризнаков недолго действовавших процессов, или процессов слабой интенсивности. То есть, используя микроморфологическую диагностику, можно найти признаки определенных микропроцессов, не обнаруживаемых пока на макроуровне и не диагностируемых аналитически, и реконструировать условия почвообразования даже для очень молодых и слаборазвитых почв.

Аналитические исследования носителей почвенной памяти: изучение вещественного состава и свойств твердой фазы почв всем комплексом методов, принятых в почвоведении, геохимии и минералогии, нацелено, прежде всего, на уточняющую диагностику почвенных процессов и, соответственно, типа педогенеза. Конкретный набор методов для каждого исследуемого профиля определяется результатами этой первичной полевой диагностики, поскольку диагностика различных частных почвенных процессов и, соответственно, разных типов педогенеза, требует разного набора методов, принятых в генетическом почвоведении.

При выборе методов исследования памяти почв необходимо также учитывать устойчивость признаков во времени. Так, многие из генетически значимых характеристик почв, широко используемых в диагностике современных почвенных процессов, таких, как кислотно-основные свойства почв, состав обменного комплекса, содержание и состав легкорастворимых солей, обычно не используются при анализе погребенных палеопочв, а в дневных полигенетичных почвах хотя и используются, но интерпретируются как соответствующие современному этапу педогенеза.

Помимо интегральных характеристик состава и свойств почвенного профиля, при исследованиях памяти почв перспективны аналитические исследования тех или иных элементов строения, препарированных для проведения рутинных видов анализа при мезоморфологических исследованиях. Большой прирост информации о почвенных процессах дают также аналитические методы, используемые в ходе субмикроморфологических исследований: прямой элементный и изотопный анализ, анализ минералогического состава, в том числе с использованием современных высокоразрешающих нанотехнологий, таких как лазерная абляция с масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой, масс-спектрометрия вторичных ионов [40, 52].

Помимо носителей памяти, сформированных непосредственно при участии тех или иных специфических почвенных процессов, или их совокупности (собственно почвенный профиль: парагенетическая ассоциация горизонтов, различные почвенные новообразования, характеристики и распределение почвенного гумуса, карбонатов и пр.), в памяти почв есть признаки, генетически не связанные напрямую с почвенными процессами. Это, прежде всего, биогенные носители памяти почв: включения и новообразования биогенного происхождения: макро- и микробиоморфы (углистые частицы, семена, раковины моллюсков, пыльца, фитолиты, спикулы губок, диатомеи и другие микроводоросли), живые микроскопические организмы: жизнеспособные споры грибов и бактерий, а также устойчивые к разложению индивидуальные органические вещества, или группы веществ, поступающие в почву с растительными остатками, или продуктами жизнедеятельности биоты, так называемые биомаркеры, такие как n-алканы растительных восков, лигнины, липиды, жирные кислоты и др. В этом же ряду стоит и изотопный состав почвенного органического вещества. Биогенные носители почвенной памяти характеризуют напрямую условия среды, а именно — биологический фактор почвообразования: растительные сообщества и микробиомы, участвовавшие в формировании почв. Для исследования биоморф в почве используются, прежде всего, методы оптической микроско-

пии, для исследования микробиомов используют целый спектр методов, принятых в почвенной микробиологии, биомаркеры исследуют биохимическими методами анализа. В последние декады, пожалуй, наиболее активно внедряются в сферу палеопочвоведения и адаптируются к задачам исследования палеопочв и палеоусловий среды исследования разнообразных биомаркеров [60–62].

Следует особо подчеркнуть, что, несмотря на большой опыт генетических реконструкций процессов и факторов почвообразования в современных дневных почвах и ископаемых палеопочвах, проблема точной расшифровки структурно-организационных и вещественных признаков твердой фазы почв – носителей памяти остается во многом нерешенной. Наибольшая определенность существует на макроуровне почвенных профилей и горизонтов: соответствие определенных типов профилей и горизонтов более или менее определенным типам парцелл, экосистем, ландшафтов, биомов, разным типам климата и т. д. Одна из серьезнейших проблем исследования памяти почв состоит в недостаточном знании о связях признаков (процесс) – фактор на других уровнях иерархической организации почвенного тела. Мы научились реконструировать последовательность формирования тех или иных признаков, даже иногда датировать конкретные признаки [5, 14, 17, 28, 31], однако далеко не всегда мы владеем в достаточной мере детальной информацией о связи тех или иных почвенных характеристик, внутреннего строения и состава почвенных новообразований с конкретными условиями их формирования.

Очевидно, что дальнейшее изучение твердофазных признаков почв – носителей почвенной памяти, на всех иерархических уровнях организации и во всех типах твердофазного вещества почв, – приведет к открытию и осознанию новых и все более “тонких” и скрытых слоев памяти и, соответственно, к все более детальному реконструкциям на этой основе процессов и факторов почвообразования.

ПАМЯТЬ ПОЧВ КАК ОДИН ИЗ БЛОКОВ ПАМЯТИ ГЕОСИСТЕМ

Выше мы рассмотрели почву как одну из подсистем в составе геосистем, способную записывать и хранить информацию об окружающей среде и ее изменениях, а также подходы и методы, используемые для анализа почвенной записи, позволяющего реконструировать условия среды. Возможностями записи взаимодействий биосфера–геосфера–человек в геосистемах обладает не только почва. Сходные информационные функции имеют также у других подсистем в составе геосистем (рельеф, минеральные и органические осадочные отложения, ледниковые льды), а также у отдельных компонентов внутри подсистем

(жильные льды, спелеотемы, кораллы и др.). Все эти разные источники информации, архивы, типы записи широко используются в палеогеографии для познания пошлого геосистем. Однако теоретические основы памяти биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий в настоящее время в значительной степени разработаны только для почвенных систем. Никаких обобщений, касающихся других блоков памяти геосистем и типов записи внутри них: их специфических особенностей, сходств и различий – пока не было сделано. В то же время ретроспективные и прогнозные исследования геосистем становятся все более актуальными. В таких исследованиях все чаще используется более чем один тип записи изменений среды, природный архив. Мультидисциплинарные подходы в этой области все чаще осознаются как наиболее перспективные и информативные (в англоязычных работах такой комплексный подход принято называть *multi-proxu studies*, где слово “проху” может использоваться как в значении индикатора среды и ее изменений, так и в значении записи, летописи, архива). Каждый тип записи изменений среды, каждый метод, используемый для получения информации об изменениях среды, обладают своими особенностями и ограничениями, для каждого типа записи необходим валидный материал: достаточное количество и удовлетворительное качество носителей памяти. В силу перечисленного в любой записи могут быть пробелы. Чем больше типов записи исследовано для локальной геосистемы, или региона, тем более полной и достоверной информацией о прошлом геосистем обладает исследователь.

Итак, известные архивы, летописи, типы записи, которые могут служить источником информации о прошлом геосистем, можно рассматривать как *блоки памяти биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий*, детали “пазла”, слагающие целостную картину развития во времени – *память геосистем* (рис. 4). Всю совокупность блоков памяти геосистем можно подразделить на иерархически организованные блоки ранга подсистем (рельеф, почвы, педолитокомплексы и педолитоседименты, разнообразные минеральные и органогенные отложения, ледниковые льды) и отдельно взятые объекты внутри подсистем (деревья, жильные льды, спелеотемы, кораллы). По составу блоки памяти геосистем могут быть с некоторой долей условности подразделены на поликомпонентные (почвы, рельеф, большая часть минеральных отложений) и олиго-, или монокомпонентные (большая часть органо-генных отложений, льды, спелеотемы, кораллы, деревья и др.). В целом, чем более сложен по составу и организации блок памяти, тем более он информационно емок с одной стороны, но с другой – тем более сложен для анализа.

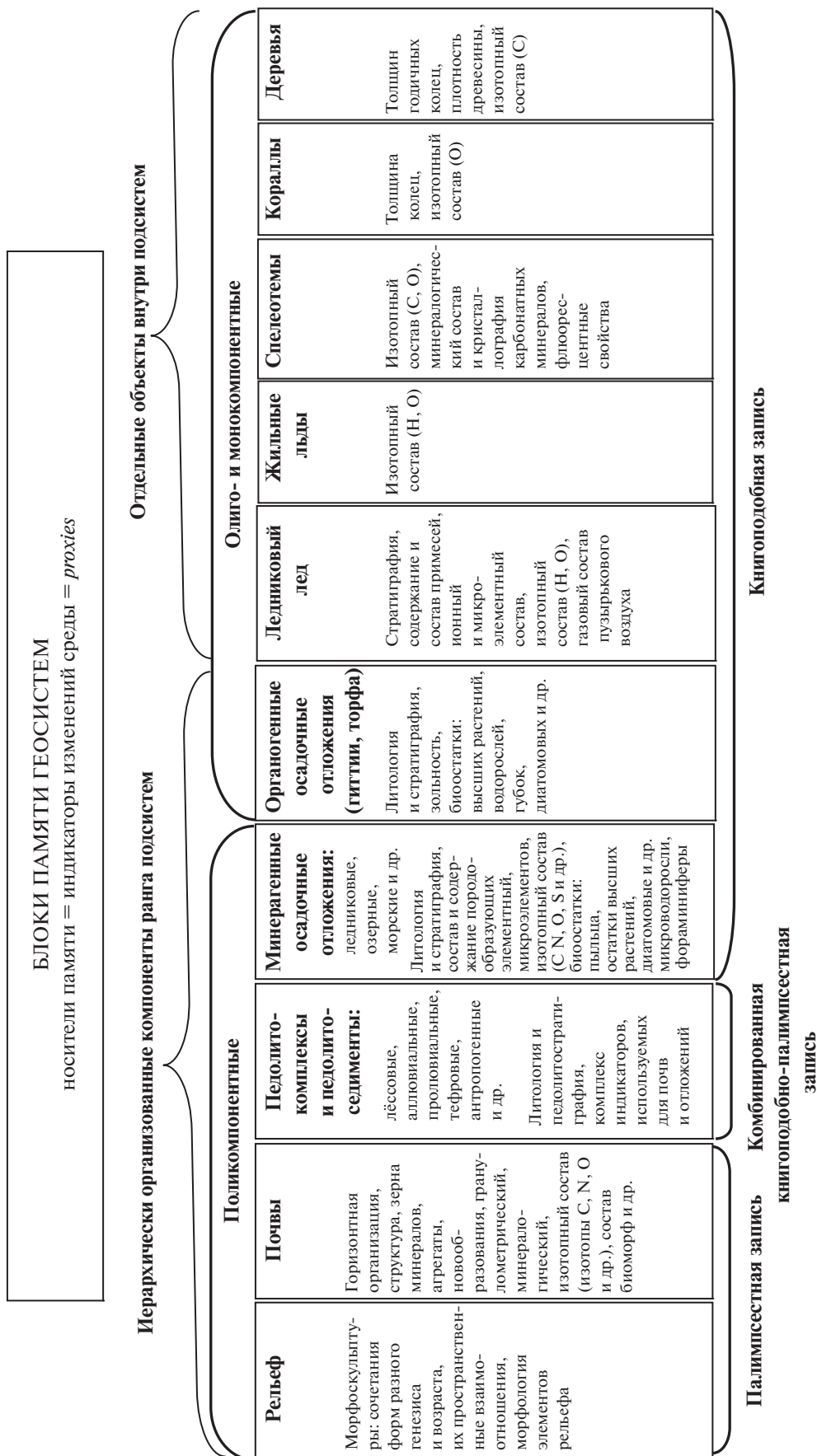


Рис. 4. Блоки памяти геосистем.

Каждый из блоков памяти геосистем характеризуется присущими ему носителями памяти, индикаторами природных изменений, проху indicators, которые можно определить как компоненты, элементы строения блока памяти, их отдельные признаки и свойства, записывающие и сохраняющие информацию о бывших условиях среды, о смене условий. Носители и индикаторы изменений среды это – минеральные зерна, агрегаты, почвенные новообразования, спорово-пыльцевые комплексы, диатомовые комплексы, хирономидные комплексы, комплексы макроостатков биоты, фитолиты, изотопы С, N, O, газовые включения во льдах и т. д., состав микроэлементов, состав биомаркеров, годичное кольцо (древесина, спелеотемы), годичный слой (варвы ленточных глин) и др. Основные индикаторы, носители памяти, присущие каждому из рассмотренных блоков памяти геосистем представлены на рис. 4.

В основе большинства блоков памяти геосистем лежит послойная, книгоподобная запись: последовательное накопление, прирост с течением времени слоев минеральных отложений, торфа, льда, спелеотем, кораллов, древесных колец. Из широко используемых и распространённых блоков памяти, архивов только почвы и рельеф имеют отличный тип записи. Тип записи, характерный для рельефа, в некотором смысле близок к почвенному. Запись в почве происходит в едином трехмерном объеме породы, в рельефе – в трехмерном пространстве ландшафта. В рельефе результатом изменений среды во времени является изменение, деградация и/или захоронение отдельных форм рельефа и их комбинаций, повышение/снижение интенсивности развития форм, возникновение новых форм на дневной поверхности. Такую запись, так же как почвенную, можно считать палимпсестной. Один из блоков памяти – педолитокомплексы – сочетает книгоподобную седиментогенную запись с палимпсестной, почвенной.

Несмотря на то, что в целом для почвенных систем характерен палимпсестный тип записи, а для осадочных пород – книгоподобный, внутри почв, как упоминалось выше, встречаются объекты, элементы строения, записывающие информацию послойно и обладающие смешанным: книжно-палимпсестным типом записи, и, напротив, внутри осадочных пород и других слоистых архивов встречаются элементы палимпсестной записи, наложенной записи: первичные (конседиментационные) признаки и постседиментационные (диагенетические), которые тоже являются носителями информации. Примером палимпсестного типа записи внутри осадочных систем могут служить криогенные признаки. Так, в криогенных горизонтах осадочных толщ мерзлотные процессы часто накладываются на отложения заведомо более древние. Мерзлото деформированными мо-

гут быть отложения теплых периодов, например, согласно их спорово-пыльцевым спектрам.

Поскольку все записи природных изменений имеют пробелы, неполноту, ограничения в пространстве и применении, корреляция разных типов записей, блоков памяти геосистем, безусловно, повышает достоверность и полноту реконструкций среды [35, 38]. Однако, как показывает практика, такая корреляция всегда очень сложна и пока позволяет верифицировать однозначно только климатические и другие природные сигналы высокой интенсивности, соответствующие событиям высокого ранга, длительным периодам в развитии геосистем [54, 59]. Для продуктивной корреляции разнотипных записей необходима специальная работа по их сравнительному анализу: сопоставление особенностей фиксации, трансформации и сохранения информации в каждом из блоков памяти геосистем, в частности, о пространственной и временной разрешающей способности записей разного типа, чувствительности носителей информации к изменениям среды, скорости отклика системы на разные типы сигнала (на изменения различных климатических параметров системы, на разнотипные антропогенные воздействия и пр.). Такая работа – один из важных горизонтов дальнейшего развития знания о поведении геосистем во времени, или, иначе, памяти геосистем и их компонентов о биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из обзора современного состояния знания о закономерностях поведения почвенных систем во времени, обобщенного в генетическом почвоведении в виде концепции памяти почв, объем накопленного к настоящему времени фактического материала о почвах прошлого и истории развития дневных полигенетических почв колоссален, но степень генерализации и обобщения этого материала пока невелика. Глобальные корреляции изменений почв и соответствующих им изменений среды в разные периоды геологической истории, для разных регионов мира – дело будущего и, будем надеяться, недалекого.

Если говорить о дальнейшем развитии и углублении исследований почв, как одного из блоков памяти геосистем, то наибольшие перспективы нам видятся, с одной стороны, в расширении спектра методов, используемых для исследования вещества, твердофазного каркаса почв, а с другой – в неразрывной связи исследований компонентов, элементов строения “кирпичиков” почвенного тела с его иерархическими морфогенетическими исследованиями. Ведь только исследования морфологии почвенного тела на разных уровнях его организации позволяют понять всю его сложную архитектуру, дают ключ к ре-

конструкции совокупности и последовательности процессов, формирующих почвенный профиль, к раздельной диагностике элементов литопамяти, почвенной памяти последовательных фаз педогенеза для полигенетических почв и диагнетической памяти для погребенных палепочв.

Что касается исследований поведения во времени геосистем, будущее здесь, безусловно, за комплексным подходом. Мультииндикаторный анализ, корреляция нескольких типов записи природных изменений в палеогеографии в последние десятилетия все больше становится обычной практикой. Исследования почв как памяти геосферно-биосферно-антропоферных взаимодействий, также весьма перспективно сочетать с изучением других блоков памяти геосистем. Особенно продуктивным, на наш взгляд, является анализ всех доступных блоков памяти при исследовании прошлого локальных геосистем. Отдельным, очень перспективным направлением мы считаем параллельный анализ внутри одной геосистемы слоистых внутрпочвенных архивов: кулан различного состава, конкреций со слоистыми непочвенными записями органогенных и минеральных отложений, древесных кернов и др.

Для успешного развития комплексных подходов в исследовании развития геосистем во времени необходим теоретический анализ источников палеогеографической информации, различных носителей и типов записи природных изменений: оценка различий в механизмах записи на разных носителях и в разных типах записи, устойчивости признаков, чувствительности и скорости отклика разных блоков памяти геосистем и носителей записи на те или иные изменения среды, пространственной и временной разрешающей способности разных типов записи, степени генерализации сигнала при записи на разных носителях и в разных блоках памяти.

Благодарность. Работа выполнена в рамках программ ФНИ, ГЗ ИГРАН 0148-2016-0003 “Географическая оценка естественной и антропогенной эволюции почв на основе концепции памяти почв для целей рационального природопользования”, а также при поддержке проекта РНФ № 14-27-00133 (полевые исследования). Авторы выражают благодарность зав. лаб. эволюционной географии ИГРАН, д. г. н. А.В. Панину за ценные советы при подготовке рукописи, м. н. с. ИГРАН Ю.В. Конопляниковой за помощь в подготовке иллюстраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александровский А.Л.* Эволюция почв низких террас озера Неро // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1155–1167.
2. *Александровский А.Л., Александровская Е.И.* Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
3. *Александровский А.Л., Александровская Е.И., Долгих А.В., Замотаев И.В., Курбатова А.Н.* Почвы и культурные слои древних городов юга Европейской России // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1291–1301.
4. *Алексеева Т.В., Золотарева Б.Н., Кабанов П.Б., Алексеев А.О.* Ископаемые почвы карбона Московской синеклизы: минералогический состав и органическое вещество // Биосферные функции почвенного покрова. Мат-лы Всерос. научной конф., посвященной 40-летию юбилею Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 2010. С. 11–13.
5. *Бронникова М.А., Конопляникова Ю.В., Агатова А.Р., Зазовская Э.П., Лебедева М.П., Турова И.В., Непоп Р.К., Шоркунов И.Г., Черкинский А.Е.* Кутаны криоаридных почв и другие летописи ландшафтно-климатических изменений в котловине озера Ак-Холь (Тува) // Почвоведение. 2017. № 2. С. 158–175.
6. *Величко А.А., Морозова Т.Д.* Реконструкции почвенного покрова в средней и южной части Восточно-Европейской равнины по данным палеопедологического анализа // Динамика ландшафтных компонентов за последние 130 тыс. лет. М.: ГЕОС, 2002. С. 109–114.
7. *Величко А.А., Морозова Т.Д.* Эволюция почвообразования в плейстоцене // Многоликая география. Развитие идей Иннокентия Петровича Герасимова (к 100-летию со дня рождения). М.: КМК, 2005. С. 65–75.
8. *Воробьева Г.А.* Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.
9. *Геннадиев А.Н.* О факторах и этапах развития почв во времени // Почвоведение. 1986. № 4. С. 102–122.
10. *Герасимов И.П.* Природа и сущность древних почв // Почвоведение. 1971. № 1. С. 3–10.
11. *Герасимов И.П.* Элементарные почвенные процессы как основа генетической диагностики почв // Почвоведение. 1973. № 5. С. 27–38.
12. *Герасимова М.И., Бронникова М.А., Хитров Н.Б., Шоркунов И.Г.* Опыт иерархического морфогенетического анализа Курского чернозема // Мат-лы Всерос. конф. с международным участием “Морфология почв: от макро- до субмикрорурвня” М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2016. С. 85–100.
13. *Глинка К.Д.* Задачи исторического почвоведения. Зап. Ново-Александр. ин-та сел. хоз-ва и лесоводства. Варшава, 1904. Т. 16. Вып. 2. 20 с.
14. *Голубцов В.А., Рыжов Ю.В., Кобылкин Д.В.* Почвообразование и осадконакопление в Селенгинском среднегорье в позднеледниковье и голоцене. Иркутск, 2017. 139 с.
15. *Гольева А.А.* Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.—Сыктывкар—Элиста, 2001. 240 с.
16. *Зыкина В.С., Зыкин В.С.* Лёссово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и

- климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Гео, 2012. 477 с.
17. *Иноземцев С.А., Таргульян В.О.* Верхнепермские палеопочвы: свойства, процессы, условия формирования. М.: ГЕОС, 2010. 186 с.
 18. *Козловский Ф.И., Горячкин С.В.* Почва как зеркало ландшафта и концепция информационной структуры почвенного покрова // Почвоведение. 1996. № 3. С. 288–297.
 19. *Маркова А.К.* Реконструкция палеоландшафтов Лихвинского межледниковья по материалам фаун мелких млекопитающих Восточной Европы // Изв. РАН. Сер. географическая. 2004. № 2. С. 39–51.
 20. *Кудеяров В.Н., Иванов И.В.* (Отв. ред.) Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. 925 с.
 21. *Полынов Б.Б.* Время как фактор почвообразования // Изв. Почв. Комитета. 1917. № 3–4. С. 156–171.
 22. *Роде А.А.* Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М.: ОГИЗ, 1947. 92 с.
 23. *Русаков А.В.* Формирование озерно-ледниковых отложений и почв в перигляциальной зоне центра Русской равнины в позднем плейстоцене и голоцене. Автореф. дис. ... докт. геогр. н. С-Пб. гос. ун-т. Санкт-Петербург, 2012.
 24. *Русаков А.В., Никонов А.А., Савельева Л.А., Симакова А.Н., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Коркка М.А., Савенко В.Б., Старикова А.А.* Хроностратиграфия опорного разреза “Черемошник” (Ярославское Поволжье) на основе новой серии абсолютных датировок, палинологических и палеопочвенных исследований // Докл. Академии наук. 2017. Т. 472. № 6. С. 704–707.
 25. *Соколов И.А., Таргульян В.О.* Взаимодействие почвы и среды: почва—память и почва—момент // Изучение и освоение природной среды. М.: Наука, 1976. С. 150–164.
 26. *Сычева С.А., Седов С.Н., Погосян Л.А., Соллейро-Реболledo Э.* Этапы экстремального и оптимального развития ландшафтов Центральной Мексики за последние 40000 лет. М.: Медиа-Пресс, 2016. 156 с.
 27. *Сычева С.А., Фрехен М., Пономаренко Е.В., Панин П.Г., Седов С.Н., Симакова А.Н., Хохлова О.С., Терхорст Б.* Стратиграфия и хронология позднего плейстоцена внеледниковой области Восточно-Европейской равнины: палеопочвы, растительность, ¹⁴C- и OSL-даты // Пути эволюционной географии. Мат-лы Всерос. научной конференции, посвященной памяти проф. А.А. Величко. М.: Ин-т географии РАН, 2016. С. 309–315.
 28. *Таргульян В.О., Горячкин С.В.* (Отв. ред.) Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.
 29. *Таргульян В.О., Соколов И.А.* Структурный и функциональный подход к почве: почва—память и почва—момент // Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1978. С. 17–33.
 30. *Таргульян В.О., Соколова Т.А.* Почва как биокосная природная система: “реактор”, “память” и регулятор биосферных взаимодействий // Почвоведение. 1996. № 1. С. 34–47.
 31. *Хохлова О.С.* Изменчивость свойств подкурганых палеопочв в коротких хронорядях // Пути эволюционной географии. Мат-лы Всерос. научной конф., посвященной памяти проф. А.А. Величко. 2016. С. 591–596.
 32. *Хохлова О.С., Хохлов А.А., Кузнецова А.М., Малашев В.Ю., Магомедов Р.Г.* Изменения свойств почв при разнонаправленных климатических колебаниях позднего голоцена в полупустынной зоне (на примере курганного могильника Паласа-Сырт, Дагестан) // Почвоведение. 2015. № 1. С. 31–48.
 33. *Bochheim J.G., Gennadiev A.N.* Soil-factorial models and earth-system science: A review // Geoderma. 2010. V. 159. P. 243–251.
 34. *Buol S.W., Southard R.J., Graham R.C., McDaniel P.A.* Soil Genesis and Classification. Iowa: Iowa State Press, 2002. 415 p.
 35. *Chen F., Holmes J., Wünnemann B., Yu Z.* Holocene climate variability in arid Asia: Nature and mechanisms Editorial // Quaternary International. 2009. № 194. P. 1–5.
 36. *Golyeva A., Chichagova O., Bondareva J.* Soil forming processes of ancient man-made soils (cultural layers) by the example of sites in humid (Dunino) and arid (Ar-Dolong) regions of Russia: A first approach // Quaternary International. 2016. V. 418. P. 22–27.
 37. *Golyeva A., Zazovskaia E., Turova I.* Properties of ancient deeply transformed man-made soils (cultural layers) and their advances to classification by the example of Early Iron Age sites in Moscow Region. // Catena. 2016. V. 137. P. 605–610.
 38. *Holmes J.A., Zhang J., Chen F., Qiang M.* Paleoclimatic implications of an 850-year oxygen-isotope record from the northern Tibetan Plateau // Geophysical Research Letters. 2007. V. 34. № 23. L23403.
 39. *Mazurek R., Kowalska J., Gąsiorek M., Setlak M.* Micromorphological and physico-chemical analyses of cultural layers in the urban soil of a medieval city. A case study from Krakow. Poland // Catena. 2016. V. 141. P. 73–84.
 40. *Mergelov N., Carsten M., Prater I., Shorkunov I., Dolgikh A., Zazovskaya E., Shishkov V., Krupskaya V., Abrosimov K., Cherkin A., Goryachkin S.* 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. Article number: 3367.
 41. *Monger H.C., Rachal D.M.* Soil and landscape memory of climate change – how sensitive, how connected // New Frontiers in Paleopedology and Terrestrial Paleoclimatology. SEPM Special Publication. 2013. № 104. P. 63–69.
 42. *Nicosia C., Stoops G.* (Eds). Archaeological soil and sediment micromorphology. NJ: Wiley, 2017. 496 p.
 43. *Nikiforoff C.C.* Introduction to paleopedology // American J. of Science. 1943. V. 241. P. 194–200.
 44. *Nikiforoff C.C.* Pedogenic criteria of climatic changes // Climatic Change: Evidence, Causes, and Effects. 1953. P. 189–200. <https://org/10.4159/harvard.9780674367166.c15>.
 45. *Retallack G.* A short history and long future for paleopedology // SEPM Special Publications. 2013. V. 104. P. 5–16. doi 10.2110/sepmsp.104.06

46. *Retallack G., Krinsley D., Fischer R., Razink J., Langworthye K.* Archean coastal-plain paleosols and life on land // *Gondwana Research*. 2016. V. 40. P. 1–20.
47. *Richter D., Markewitz D.* Understanding soil change: soil sustainability over millennia, centuries, and decades. New York: Cambridge University Press, 2001. 255 p.
48. *Richter D., Yaalon D.* “The Changing Model of Soil” Revisited // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2012. V. 76. № 3. P. 766–778.
49. *Sauer D.* Pedological concepts to be considered in soil chronosequence studies // *Soil Research*. 2015. V. 53. P. 577–591.
50. *Sauer D., Scholli-Maurer I., Wagner S., Scarciglia F., Sperstad R., Svendgerd-Stokke S., Surensen R., Schellmann G.* Soil development over millennial timescales—a comparison of soil chronosequences of different climates and lithologies // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2015. V. 25. № 1. P. 012009.
51. *Scarciglia F., Pelle T., Pulice I., Robustelli G.* A comparison of Quaternary soil chronosequences from the Ionian and Tyrrhenian coasts of Calabria, southern Italy: Rates of soil development and geomorphic dynamics // *Quaternary International*. 2015. V. 376. P. 146–162.
52. *Schindler M., Hochella Jr.* Soil memory in mineral surface coatings: Environmental processes recorded at the nanoscale // *Geology*. 2015. V. 43. № 5. P. 415–418.
53. *Sedov S., Rusakov A., Sheinkman V., Korkka M.* MIS3 paleosols in the center-north of Eastern Europe and Western Siberia: Reductomorphic pedogenesis conditioned by permafrost? // *Catena*. 2016. V. 146. P. 38–47.
54. *Solomina O., Alverson K.* High latitude Eurasian paleoenvironments: introduction and synthesis // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. V. 209. P. 1–18.
55. *Spinola D., de Castro Portes R., Srivastava P., Torrent J., Barrón V., Kühn P.* Diagenetic reddening of Early Eocene paleosols on King George Island, Antarctica // *Geoderma*. 2018. V. 315. P. 149–159.
56. *Sycheva S., Khokhlova O.* Genesis, 14C age, and duration of development of the Bryansk paleosol on the Central Russian upland based on dating of different materials // *Quaternary International*. 2016. V. 399. P. 111–121.
57. *Terhorst B., Sedov S., Sprafke T., Peticzka R., Meyer-Heintze S., Kühn P., Solleiro-Rebolledo E.* Austrian MIS 3/2 loess-paleosol records – Key sites along a W-E transect // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2015. V. 418. P. 43–56.
58. *Wilding L., Lin H.* Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience // *Geoderma*. 2006. V. 131. № 3–4. P. 257–274.
59. *Yang B., Wang J., Bräuning A., Dong Z., Esper J.* Late Holocene climatic and environmental changes in arid central Asia // *Quaternary International*. 2009. V. 194. № 1–2. P. 68–78.
60. *Zech M., Glaser B.* Improved compound-specific d13 C analysis of n-alkanes for application in paleoenvironmental studies // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2008. V. 22. P. 135–142.
61. *Zech M., Zech R., Buggle B., Zöller L.* Novel methodological approaches in loess research – interrogating biomarkers and compound-specific stable isotopes // *Eiszeitalter und Gegenwart Quaternary Science J.* 2011. V. 60. № 1. P. 170–187.
62. *Zhang Z., Zhao M., Eglinton G., Lu H., Huang C.Y.* Leaf wax lipids as paleovegetational and paleoenvironmental proxies for the Chinese Loess Plateau over the last 170 kyr // *Quaternary Science Reviews*. 2006. V. 25. № 5–6. P. 575–594.

Soil Memory: Theoretical Background of the Concept, State-of-the Art, and Future Development

V. O. Targulian^a and M. A. Bronnikova^{a, *}

^a*Institute of Geography, RAS, 119017, Staromonetnyy, 29, Moscow, Russia*

^{*}*e-mail: mbmsh@mail.ru*

The state-of-the art of the knowledge on the problems of soil memory is highlighted. The paper contains a brief overview of publications in the last two decades concerning soils as information systems, soils in time and space, environment reconstructions based on soil records. The paper presents a short review of soil memory concept substantiation as soil capability to record environment and soil forming processes in a set of stable features in the solid phase of the soil body. Soil memory as a potential ability to record environmental conditions, mechanisms of information recording, accumulation, and storage; environmental indicators in soil and methods of their study are considered. Two major models of soil memory and soil record distribution in a profile as a response to environmental and evolutionary change were regarded: models at increased and decreased soil formation potentials of climate and biota. A term “soil geosystem memory” is introduced. Blocks of geosystem memory are discussed in a hierarchy: ones of a sub-system level, and discreet objects within sub-systems. Environmental proxy indicators for every block of geosystem memory were listed. The most perspective future developments of soil memory concept are regarded in widening methods applied for studies of soil solid phase, as well as in correlative study of soil constituents and features with hierarchic morphogenetic aalysis.

Keywords: soils in time, soil memory, soil record, polygenetic soils, soil evolution, environmental indicators in soil