

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

В.И. САВИЧ, А.К. САИДОВ*, Ж. НОРОВСУРЭН**, В.А. РАСКАТОВ, М.Е. СНАГИНСКИЙ

(Кафедра почвоведения)

В работе показано, что влияние внешних факторов на формирование свойств почв определяется воздействием на породу вещества, энергии. Установлена роль локальных геофизических полей Земли, минералогического состава и микробиологической активности как факторов почвообразования. Почвообразовательный процесс состоит из сезонных и годовых изменений свойств почв, описываемых незамкнутой петлей гистерезиса. Предлагается рассматривать закономерную смену реакций и процессов во времени как сукцессии.

Ключевые слова: почва, факторы почвообразования, эволюция почв.

Знание закономерностей формирования и эволюции почв имеет большое теоретическое и практическое значение, так как позволяет более точно определить модели плодородия почв и модели оптимального состояния почв для эффективного выполнения ими других экологических функций. В то же время без знания рассматриваемых процессов невозможен прогноз эволюции почв, необходимый как с точки зрения экологии, так и с точки зрения с.-х. производства. Регулирование скорости и интенсивности почвообразовательных процессов позволяет существенно повысить эффективность природопользования. В качестве факторов почвообразования выделяют климат, рельеф, растительность, почвообразующие породы, антропогенное воздействие, время.

Общие законы почвообразования в нашей стране разработаны и детально изложены в трудах основателя генетического почвоведения В.В. Докучаева и других ученых [5, 7, 9, 12, 14, 16, 20, 22-24, 26, 34, 35, 38, 39]. Отмечается, что почвообразование протекает под

действием территориальных и локальных процессов. Ф.И. Козловский [25] считает целесообразным разделение факторов почвообразования на внутренние (литопедегенная матрица) и внешние (остальные докучаевские факторы). В.Д. Тонконогов [50] выделяет 3 группы факторов почвообразования:

1) внутренние факторы — порода, более древняя почва и т.д.; 2) внешние факторы, представляющие собой поток вещества и энергии, поступающих в почву и взаимодействующих с внутренними факторами; 3) факторы-распределители поступающих извне веществ и энергии: рельеф, неоднородность свойств почв, растительный покров, агротехнические приемы, гидромелиорация и т.д.

Объекты и методы исследования

В представленной работе проведено теоретическое обобщение литературных материалов и полученных нами данных. В качестве объектов собственных исследований выбраны подзолистые и дерново-подзолистые почвы, различные типы почв Казах-

* ПНБР ДНЦ РАН.

** РАН Институт биологии АН Монголии, лаборатория почвенных ресурсов.

стана, Монголии, Тывы, коричневые почвы разной степени слитизации, серые лесные почвы и черноземы [15, 18, 40, 41, 43].

*Теоретическое обоснование
новых подходов к оценке
факторов почвообразования*

С нашей точки зрения, образование почв и их эволюция происходят под действием трансформации, миграции и аккумуляции вещества, энергии, которые частично могут переходить друг в друга. Информация определяет трансформацию, миграцию и аккумуляцию энергии, а затем и вещества. Историческое развитие природных систем приводит к увеличению их организации, нарастающей дифференциации функций, в т.ч. горизонтов почв, как геохимических барьеров.

Воздействие всех факторов происходит на породу, которая в результате превращается в почву. При этом эффект действия факторов почвообразования определяется интенсивностью воздействия, продолжительностью воздействия, мощностью воздействия, градиентом во времени и в пространстве, закономерной сменой во времени и в пространстве. Количественные изменения в породе и почве, в первом приближении, могут быть описаны экспоненциальной зависимостью. При этом почва переходит на новую стадию развития. При действии фактора почвообразования на породу и почву проявляются эффекты синергизма и антагонизма.

Формирование почв в значительной степени определяется и принципом эмерджентности, согласно которому действие нескольких факторов не равнозначно сумме их действия по отдельности, и у системного целого присутствуют дополнительные свойства, не присущие его подсистемам.

Влияние факторов почвообразования на образование почв из породы и на эволюцию почв перспективно рассматривать на разном иерархическом

уровне. Например, влияние климата определяется увлажнением территории, температурой, поступлением на поверхность солнечной радиации и т.д. В свою очередь, для почвообразования важно соотношение этих показателей и не только за год или за вегетационный период, но и в критические фазы развития растений и почв.

С нашей точки зрения, почвообразовательные процессы целесообразно рассматривать на разном иерархическом уровне: глобальном, региональном, уровне бассейна, ландшафта, локальном; на уровне катены, профиля почвы, горизонтов, мезо- и микронзон и т.д.

Почвообразование целесообразно рассматривать в разных временных рамках: более 1000 лет, 1000-100 лет, менее 100 лет. В разных временных рамках роль влияния отдельных факторов почвообразования на свойства почв существенно меняется. Так, растительность и микрорельеф в течение 1000 лет, как правило, меняются, и тренд их влияния на отдельные свойства почв также будет меняться. Влияние на почвообразующую породу климата, геофизических полей Земли, Космоса более постоянно, и однозначный вектор изменения свойств почв сохраняется в течение более длительного промежутка времени.

С нашей точки зрения, необходимо выделять в качестве самостоятельных факторов почвообразования геофизические поля Земли, микробиологическую активность, минералогический состав пород. Наряду с сукцессией растительных сообществ перспективно рассматривать и сукцессию почв — закономерную смену почв в процессе эволюции в определенных временных интервалах.

Знание закономерностей влияния факторов почвообразования на эволюцию почв позволяет рекомендовать пути и приемы по изменению степени и скорости их влияния на формирование экологических функций почв,

наиболее важных в связи с поставленными задачами. Изучение степени влияния факторов почвообразования на формирование почв проводится с целью классификации почв, для выяснения географических закономерностей распространения почв, уточнения прогнозов эволюции почв, для разработки оптимальных путей повышения плодородия почв.

Экспериментальная часть

Энергетическая оценка почвообразования

Ряд авторов рассматривает энергетическую и термодинамическую трактовку почвообразования. А.Е. Ферсман [54] отмечал, что энергетический подход к анализу динамически развивающихся процессов природы является конечной целью наших исследований, а калория или киловатт должны являться единым мерилом определения хода процесса. Почвенные системы создают организованные и упорядоченные системы, где линейно приращиваются энергия и вещество с синхронным формированием почвенного профиля и его морфологических свойств [7].

А.И. Перельман [36] отмечает, что в ходе геологической истории биологическая аккумуляция солнечной энергии увеличилась. Частично эта энергия расходовалась на перемещение и дифференциацию веществ, которая также нарастала в процессе эволюции.

В работах В.Р. Волобуева и его школы [4, 8, 13] показана перспективность энергетической оценки почв, установлена связь энергетических показателей почв с их географическим распространением, радиационным балансом, степенью развития почв, их минералогическим составом. По данным автора, общее количество энергии, участвующей в экосистемных процессах, в связи с почвообразованием: от 1~5 ккал/см² — в тундрах и пустынях до 40-50 — в черноземных

степях и до 60-70 ккал/см² в год — в тропиках.

Энергетические составляющие в системе почва - растение могут быть охарактеризованы следующими данными. На испарение и транспирацию расходуется 95-99,5% всей суммы энергии на почвообразование; на долю циклических биологических процессов — 0,5-5%; на разложение минералов — 0,0-0,00%. Суммарные затраты энергии на почвообразование и коэффициент полноты использования радиационной энергии в биогеоценозе закономерно возрастают с увеличением радиационного баланса и увлажненности территории. В таком же направлении изменяются затраты энергии на разрушение минералов в процессах выветривания.

Энергия солнечного света поглощается растениями и с корневым и надземным опадом попадает в почву. При разложении части растительных остатков, в т.ч. до углекислого газа и воды, энергия освобождается. Эта освободившаяся энергия расходуется на образование более сложных энергоемких вторичных минералов и гумусовых веществ, на трансформацию почвенного профиля. Энергия, поступающая в почву, аккумулируется в твердой, жидкой и газообразной фазах, в органической и минеральной частях почв, в биоте и растительных остатках, в органоминеральных соединениях, в разных горизонтах. Часть энергии, поступающей в почву, поглощается ею, часть мигрирует в водную и воздушную среду, часть отражается. С точки зрения практики, необходимо максимальное уменьшение потерь энергии из почвы.

Для энергетической оценки почвообразования важно не только содержание энергии в почве и в отдельных ее компонентах (AG, ДН, AS), но и их изменение по горизонтам, при протекании определенных процессов. Энергетическая оценка почв и про-

текающих процессов необходима для объяснения географических закономерностей распределения отдельных типов почв, прогноза протекания в почве частных физико-химических процессов, процессов почвообразования и деградации; для прогноза эволюции почв, выбора оптимальных путей регулирования протекающих в почве процессов и режимов.

Так, с опадом растений в подзолистые и дерново-подзолистые почвы поступает энергии 100—800 кДж/см² в год, в черноземах — 1650—2100; в серо-бурых почвах — 100—200; соответственно запасы энергии в год составляют в гумусе в слое 0—100 см — 22600, 96400, 14200, затраты энергии на почвообразование — 41000, 63000 и 33000 кДж/см² в год. По полученным нами данным, для дерново-подзолистых среднесуглинистых почв по мере повышения плодородия почв существенно возрастала энергоемкость гумуса в пахотном слое (231-254 млн ккал/га — среднее плодородие и 261-283 млн ккал/га — повышенное плодородие). Увеличивалась и аккумуляция солнечной энергии посевами на 16-18%), потребление азота почвы — в 1,3-2,3 раза, фосфора и калия — в 1,3—1,9 раза по сравнению со слабокультуренной почвой.

Антропогенное воздействие, как фактор почвообразования (при внесении NPK из расчета использования посевами 3% фотосинтетически активной радиации) привело к увеличению энергоемкости гумуса в пахотном слое среднесуглинистой почвы за 30-летний период на 277-310 млн ккал/га и при повышенном плодородии — до 284-335 млн ккал/га. Влияние антропогенного воздействия на почвообразование зависит от степени соответствия экологических требований выращиваемых на почве культур. Так, по полученным нами данным, на слабокультуренной дерново-подзолистой почве более выгодным было выращивание многолетних трав. Отчуждение энергии с уро-

жаем и поступление энергии в почву составило соответственно 24144000 и 20760000 ккал/га, а при выращивании пшеницы — соответственно 10632000 и 6804000 ккал/га. В то же время на хорошо окультуренной почве поступление энергии в почву было под многолетними травами и пшеницей одинаково, а отчуждение с урожаем пшеницы больше — 55237000 ккал/га, а с травами — 44344000 ккал/га.

Энергетические факторы влияют на поглощение элементов питания растениями. Так, по нашим данным, содержание фосфора в фитомассе ячменя на дерново-подзолистой почве в интервале суммы температур 351-650° по сравнению с интервалами температур 650-850° по вариантам окультуренности ОК₁, ОК₃₋₁, ОК₃₋₂ и ОК₃₋₃ уменьшилось. Полученные величины были равны соответственно 5,9±0,7 и 4,2±0,8 кг/га; 9,3±1,6 и 6,1±1,4; 17,7±0,3 и 11,2±3,2; 15,4±2,0 и 9,6±2,7 кг/га. Это соответствует более слабому поглощению фосфатов растениями при более низких температурах (< 10°). Влияние влажности и температуры в течение вегетации в значительной степени сказывалось на соотношении C/N, Ca/K, C/P, N/P в фитомассе.

Энергетические показатели определяют и состав обменных катионов ППК. Для того чтобы поглотиться в твердой фазе почвы, ион должен затратить энергию, равную энергии гидратации. Например, для кальция она составляет 370 ккал/г-ион, а для магния — 470. Поэтому в более южных районах отношение кальция к магнию в ППК уже [41]. Подробное рассмотрение этих вопросов дано в ранее опубликованной работе [43].

Информационная оценка почвообразования

Жизнь может существовать только в процессе движения через живое тело потока вещества, энергии и информации. Прекращение движения в этом потоке прекращает жизнь [37].

Реализация информационной функции происходит путем осуществления структурных взаимосвязей, как внутри минералогического состава, так и между ним и другими компонентами почв, минералогическим составом и микробиологической, ферментативной активностью, растениями, внешними факторами (связей прямых и обратных, прямолинейных и другой формы, первичных и вторичных и т.д.). Подробнее эти вопросы изложены в ранее опубликованной работе [15].

Наличие информации в почве (почва «память» и почва «момент»), как движущей силы эволюции почв, отмечено в [48, 49]. Матричная роль почв отмечена в [27, 47, 50].

Полученные нами данные также показали, что отдельные свойства почв взаимосвязаны. Так, для производственных полей дерново-подзолистых почв хозяйства «Михайловское» Московской обл. участкам с $pH = 7,6 \pm 0,1$ соответствовали значения Eh в мв по хлорсеребряному электроду 340 ± 4 ; $a(NO_3) = 2 \pm 0,1$; $aK = 6 \pm 2,0$; $aCa = 527 \pm 98$; $Fe = 2 \pm 0,6$ моль/л $\cdot 10^{-5}$; а участкам с $pH(H_2O) = 5,7 \pm 0,1$ значения $Eh = 44 \pm 8$; $a(NO_3) = 2 \pm 0,8$; $aK = 19 \pm 0,5$; $aCa = 181 \pm 3,4$. Степень подвижности элементов в почве, а следовательно, их влияние на почвообразование, зависит от сочетания свойств почв.

Так, в исследуемых коричневых почвах емкость поглощения почв определялась долей минералов каолинита + хлорита (X_1), гидрослюды (X_2), палыгорскита (X_3), смектита (X_4) от их суммы, содержанием гумуса (X_5), долей частиц 0,001—0,005 (X_6); долей частиц 0,005—0,25 (X_7).

$$EKO = 4,59 + 0,62X_1 + 1,11X_2 + 0,78X_3 + 0,99X_4 + 1,8X_5 + 0,82X_6 - 0,25X_7; R = 0,98.$$

По полученным нами данным, закономерные связи между свойствами почв и свойствами отдельных горизонтов существенно отличаются для разных типов почв и степени их окуль-

турности. При этом для моделей плодородия почв были характерны и оптимальные структурные взаимосвязи. Оптимальность структурных взаимосвязей важна и при оценке систем почва - растение, почва - окружающая среда.

Важным показателем информационной оценки является характеристика степени разнообразия сорбционных центров, экологических ниш, биоты в почве.

Климат как фактор почвообразования

Влияние климата как фактора почвообразования полно освещено в работах [12, 14]. Установлена связь процессов почвообразования с гидротермическим коэффициентом, коэффициентом увлажнения, степенью континентальности, периодом биологической активности, термо- и гидрорядами [3, 4, 28, 32].

Развитие почвообразовательных процессов зависит от температуры, от $t^\circ > 10^\circ$, $\Sigma t^\circ > 10^\circ$. Однако влияние температуры может отличаться при разной влажности почв. Свидетельствует, что влияние температуры в сухих почвах не такое, как во влажных. В то же время влияние температуры на процессы почвообразования зависит не от их суммы, а от количества дней с биологически активной температурой (для растений — более $+10^\circ$, для микроорганизмов — более $+5^\circ$, для ряда химических процессов — более 0°). Видимо, более правильно рассматривать влияние климатических факторов не только на развитие растений, но и на развитие микроорганизмов, протекание химических реакций, на испарение и миграцию веществ. В то же время это влияние может рассматриваться на разном иерархическом уровне — влияние влажности, температуры, солнечной радиации, их соотношения, типов водного и теплового режимов и т.д.

Согласно проведенным нами исследованиям полезным показателем,

характеризующим климатические условия, является сумма эффективной фотосинтетически активной радиации в ккал/см², приходящей на поверхность за период приемлемых для растений условий увлажнения и температуры [43]. В то же время растениям необходимо не общее поступление на поверхность фотосинтетически активной радиации, температуры, влаги, а их определенное поступление (и соотношение) в конкретные фазы развития растений.

В связи с этим биопродуктивность (и развитие дернового процесса) коррелирует не с общим количеством осадков или за вегетационный период, а с количеством осадков в критические фазы развития растений.

По данным, полученным совместно с В.Д. Наумовым и А.Н. Поляковым, наибольшая продуктивность древесной также коррелировала с влажностью и температурой за отдельные месяцы. Диаметр стволов сосны и березы коррелировал с температурой воздуха за декабрь, январь, февраль. При этом для разных древесных культур критическими являлись разные месяцы вегетационного периода. Число стволов сосны коррелировало с абсолютной влажностью за май, июнь, июль: $Y = 467,29 + 1281,19X^{-2}$ ($r = 0,85$), а число стволов березы коррелировало с этим показателем за январь, февраль, март.

При анализе влияния климатических условий на состав обменных катионов в почвах России ($n=250$) установлено, что осадки за август коррелируют с содержанием Са+Mg с $r = -0,59$; а осадки за сентябрь — с $r = -0,76$; индекс сухости - с $r = 0,64$; сумма температур более 10° — с $r = 0,60$; радиационный баланс за год — с $r = 0,51$.

Под действием различных показателей климата на биопродуктивность угодий или на развитие дернового процесса почвообразования проявляются эффекты синергизма и антагонизма.

В значительной степени проявляется и закон минимума. Так, при низкой температуре или низкой величине ФАР растениям не требуется высоких показателей влажности и т.д. Как правило, для развития растений необходим определенный градиент значений климатических показателей во времени и в пространстве.

Почвообразующие породы как фактор почвообразования

Существенное влияние на формирование почв оказывают породы. Влияние литологии на формирование почв обусловлено разным гранулометрическим и химическим составом пород, наличием геохимических провинций, разной плотностью пород, неодинаковой величиной физических полей, действующих на растительность, биоту почвы на разных породах. Для древесных культур порода чаще оказывает большее влияние на их развитие, чем верхний горизонт почв. Породы влияют в конечном итоге на все свойства почв.

Влияние на почвообразование гранулометрического и химического состава почв, геохимических провинций освещено в литературе достаточно полно. От гранулометрического состава зависят и оптимальные свойства почв.

В меньшей степени освещено влияние на почвообразование минералогического состава почв. Минералогический состав почв является одним из важнейших факторов почвообразования и плодородия почв. Он является причиной формирования как определенных химических свойств почв, так и физических показателей почвенного плодородия, микробиологической активности, первопричиной формирования почвенных свойств и процессов и несет в себе более определенное понятие, чем почвообразующая порода.

С нашей точки зрения, можно не только сформулировать правило

В.Р. Вильямса о том, что синтез и разрушение органического вещества — есть сущность почвообразовательного процесса, но и постулат о том, что трансформация, синтез и разрушение минералогического состава почв — есть сущность как почвообразовательных процессов, так и формирования экологических функций почв, в т.ч. и плодородия.

Влияние минералов на плодородие и генезис почв, с одной стороны, определяется зависимостью от них подвижности элементов, свойств почв, а с другой — их функцией трансформировать поступающие в почву соединения, способностью являться матрицей для формирования в почве и воде определенных параметров. В работе [10] отмечено, что минералогические исследования почв отражают особенно-сти генезиса почвообразующих пород и выявляют крупные регионы страны, отличающиеся по особенностям минерало-кристаллохимической основы. Они заложены геотектоническими и лито-генетическими процессами. В зависимости от этой основы находятся практически все свойства почв.

Минералогический состав почв является блоком памяти и матрицей формирования свойств почв [21, 27, 45-49]. Его перспективно характеризовать по составу, структуре, свойствам отдельных минералов и их совокупности в конкретной почве, функциональным связям между составляющими его компонентами и их устойчивостью, по функциональным связям минералогического состава со свойствами, процессами и режимами почв и их устойчивости.

Как и для любых компонентов почв следует рассматривать свойства минералов, процессы, протекающие в них и на их поверхности, режимы минералогического состава почв (изменение свойств и процессов во времени и в пространстве). В минералогическом составе есть относительно стабильные и лабильные компоненты и свойства. К

последним относятся константы диссоциации функциональных групп и константы обмена.

Целесообразно рассматривать минералогический состав почв как матрицу формирования свойств почв, органического вещества, микробиологической активности как в исходных породах, так и при поступлении в почву продуктов в результате биологического круговорота естественных процессов почвообразования или при внесении их в результате антропогенного воздействия. Информация заключена в закономерном сложном сочетании в почве отдельных минералов и смешанно-слоистых образований, в закономерностях их трансформации, распада и синтеза. Минералогический состав выступает в ряде случаев как центр процессов саморазвития почв и отдельных почвенных процессов.

Доля и сочетание отдельных минералов определяют вероятность ослонцевания почв, набухания, слитизации. Это иллюстрируется данными в [55]. По полученным нами данным, опасность слитизации почв увеличивалась с увеличением в минералогическом составе палыгорскита и смектита, для условий гидроморфного аккумулятивного ландшафта. То есть слитизация зависела не только от доли натрия и магния в ППК, но и от минералогического состава, степени увлажнения, залегания почв по рельефу, от степени засоления почв.

Растительный покров как фактор почвообразования

Одним из важнейших факторов почвообразования, а следовательно, формирования плодородия почв и их ценности является растительность. Влияние ее на формирование почв определяется химическим и биохимическим составом опада, корневыми выделениями, поглощением элементов корневой системой, стоком с деревьев и других растений, выделением листьями газообразных продуктов, составом

продуктов разложения растительного опада, изменением микроклимата, физическими полями отдельных растений и ассоциаций.

По литературным данным [18], влияние на эволюцию почв прижизненных выделений растений сопоставимо с влиянием надземного и корневого опада. Влияние на почвообразование древесных культур в значительной степени определяется и компонентами, стекающими с надземных органов растений (по стволу, ветвям, листьям).

Влияние продуктов разложения растительного опада на формирование почв зависит от этапа его разложения группами микроорганизмов, так как на разных стадиях разложения образуются различные химические продукты. Влияние растений на формирование почв обусловлено интенсивными и экстенсивными параметрами, характеризующими их состав. Наибольшее влияние на формирование почв оказывает кислотность продуктов, их комплексобразующая, структурообразующая, окислительная и восстановительная способность.

При этом возможность протекания реакций определяется интенсивными параметрами pH , p_e , E_h , константами восстановления, константами устойчивости образующихся комплексов и т.д. Эффект реакции зависит от массы реагирующих веществ, количества кислых группировок с определенной константой диссоциации, количества лигандов, способных к комплексообразованию с изучаемым катионом, количества восстановленных веществ и т.д. Эффект зависит от интенсивности воздействия и продолжительности воздействия. Он может быть оценен по константам равновесия отдельных частных реакций. В то же время при действии различных параметров мигрирующих органических веществ на почву проявляются эффекты синергизма и антагонизма. Эффект зависит

от закономерной смены во времени параметров воздействия.

По полученным нами данным, в южно-таежной подзоне в Московской обл. на дерново-подзолистых почвах оподзоливание сильнее проявлялось под широколиственными лесами, чем под хвойными. Это обусловлено большей массой опада под травяной и широколиственной растительностью, большей комплексобразующей и восстанавливающей способностью мигрирующих из опада органических соединений.

Так как корневая система растений находится на определенной глубине, то она активно участвует в перераспределении потоков влаги и питательных веществ в почвенном профиле и в формировании нисходящего тока. Это, в свою очередь, способствует эволюции почв и формированию почвенного профиля, который отчетливо проявляется уже в посадках 30-40-летнего возраста.

Таким образом, молодые древесные насаждения развиваются на одной почве, а полновозрастные — уже на качественно иной почве. Это, естественно, приводит и к изменению питательного режима почв.

На каждом этапе воздействия мигрирующих органических веществ на почву мы имеем дело с другой почвой, уже видоизмененной. Прогноз результата воздействия осложняется периодической сменой условий разложения, миграции, состава мигрирующих продуктов в сезонном цикле. Чаще импульсное воздействие оказывается эффективнее, чем монотонное. При действии растительности на почву всегда в той или иной степени проявляются и обратные связи. Растения действуют на почву, но и почва действует на растения, в связи с изменением в процессе эволюции биопродуктивности, пригодности для отдельных видов растений, изменением их химического и биохимического состава.

В проведенных исследованиях установлено, что влияние растительного покрова на почвообразование определяется массой опада, его химическим и биохимическим составом (количеством кислых функциональных групп и значениями pK_a , количеством лигандов, способных к комплексообразованию и значениями $pK_n^{ЭФ}$, количеством функциональных групп, вызывающих восстановление в почве железа и марганца, и значениями констант полувосстановления K_n), способностью растений к перемещению элементов из нижних горизонтов в верхние (развитие дернового процесса почвообразования), закономерностями развития корневых систем растений с глубиной, обуславливающими нисходящие и восходящие токи воды, устойчивостью растительного опада к разложению грибами и микроорганизмами, ингибирующей способностью опада в ку-мариновых единицах [18, 40].

При этом влияние растительного покрова на почвообразование определяется также потреблением компонентами растительного покрова элементов из почв (разных горизонтов, интенсивностью потребления, продолжительностью потребления, закономерной сменой потребления во времени).

Влияние на почвообразование рельефа убедительно показано многими авторами [6, 14, 16, 17, 20, 52]. Рельеф территории определяет приход и потоки тепла, влаги, солнечной радиации, уровней грунтовых вод, биопродуктивность и в целом трансформацию, миграцию и аккумуляцию вещества, энергии и информации, что существенно влияет на эволюцию почв. При этом процесс влияния рельефа на почвообразование целесообразно вести на разном иерархическом уровне. В то же время и протекающие почвообразовательные процессы влияют на формирование рельефа (за небольшой промежуток времени в основном на мезо- и микрорельеф). Очевидно, что влияние рельефа на почвообразование

неодинаково на разных стадиях развития почв и формирования рельефа, отличается как при оценке разных свойств почв, так и определенных почвенных процессов и режимов.

Микробиологическая активность почв, как фактор почвообразования

Микробиологическая активность почв является одним из важнейших факторов, определяющих генезис и плодородие почв, протекание в почве широкого круга процессов и формирование почвенных режимов [1, 21, 30]. Под ее влиянием происходит синтез и разрушение органического вещества почв и растений, что является, по В.Р. Вильямсу, сущностью почвообразования, разрушения минералов, изменения степени окисленности и восстановленности, гидрофильности и гидрофобности ряда соединений, аккумуляции, трансформации и миграции многих соединений. Практически все процессы, протекающие в почве, прямо или косвенно связаны с ее микробиологической активностью [14]. Убедительные экспериментальные материалы получены в работах [1, 30].

С нашей точки зрения, влияние микроорганизмов на почвообразование обусловлено в первую очередь следующими факторами: 1) развитием их в породах до появления растений; 2) развитием в породах при экстремальных условиях, непригодных для произрастания растений; 3) возможностью использования отдельными группами энергии солнечного света, неорганических соединений; 4) участием микроорганизмов практически во всех процессах трансформации, миграции и аккумуляции органической и минеральной части почв; 5) длительностью действия микроорганизмов на породу; 6) интенсивностью действия микроорганизмов на породу, обусловленную большой массой микроорганизмов, их прижизненных и посмертных выделений, большой скоростью регенерации,

снижением энергии активации ряда реакций, селективностью в осуществлении отдельных реакций; 7) быстрой передачей информации в породе и почве; 8) селективной реакцией на некоторые геофизические поля; 5) увеличением эффективности использования в системе вещества, энергии и информации.

Особенностью влияния микроорганизмов на эволюцию почв является и то, что они развиваются не только в почве, но и в породе, а также содержатся в значимом количестве на растениях и в растении, в приземном слое воздуха. Одной из основных особенностей влияния микроорганизмов на почвообразование является скорость их размножения. В течение вегетационного периода микробная масса в почвах неоднократно возобновляется; старые клетки отмирают, появляются новые. Среднюю скорость размножения за весь вегетационный период рассчитывают, суммируя скорости размножения для каждого периода подъема численности. За вегетационный период на юге бактериальная масса регенерирует 14-18, в средней полосе — 6-8 раз [29]. При внесении в почву чистых культур за год число генераций достигает 30 [19].

Важным фактором, определяющим влияние микроорганизмов на почвообразование, является их численность. Так, при использовании электронно-микроскопического метода в тундровых почвах обнаружено до 400 млн микроорганизмов на 1 г почвы, в черноземах — до 10000, а в красноземах — до 200000 млн на 1 г почвы. При обработке почв ультразвуком их определяемое содержание возрастает в 1,2-8,5 раз. На 1 см² почвы встречается от 16 млрд (дерново-подзолистая) до 420 млрд (чернозем) микроорганизмов.

Большое значение для почвообразования имеет масса микроорганизмов в почве. Многие отечественные и зарубежные ученые на основании дан-

ных о численности бактерий грибов и водорослей рассчитывали микробную биомассу с учетом массы и объема микробных тел. Е.Н. Мишустин [30] подсчитал, что в почвах различных почвенных зон СССР бактериальная масса составляет от 0,1 до 3 т/га сухого вещества микробной массы.

Н.А. Красильников [29] приводит для некоторых почв (сероземов) цифры до 9 т/га, а для Подмосквья — 4 т/га.

Ежегодная продукция микробной биомассы составляет десятки и сотни центнеров на 1 га в год. При учете скорости регенерации микроорганизмов в почве следует признать, что микробная биомасса при скорости ее обновления даже 10 раз может составить суммарно за сезон от 1 до 90 т/га, что сопоставимо с содержанием гумуса и поступлением послеуборочных остатков. Таким образом, микроорганизмы перерабатывают за сезон большее количество материала, чем возможное воздействие на почву растений, даже без учета интенсивности протекающих процессов.

Полученные нами данные подтверждают высказанные теоретические положения. В проведенных исследованиях установлена закономерная связь развития микроорганизмов с факторами внешней среды для региона Монголии и Убсу-Нурской котловины, включая районы Тувы. Показано наличие вертикальной зональности в распространении микроорганизмов, наличие явлений инверсии, интерференции и миграции; выявлены фациальные особенности развития отдельных групп микроорганизмов, в т.ч. редких групп актиномицетов в изучаемых экстраконтинентальных районах.

Влияние геофизических полей Земли на генезис почв

С нашей точки зрения, к факторам почвообразования также относятся геофизические поля Земли и Космоса. При этом геофизические поля Земли (в первую очередь гравитационное и

магнитное) характеризуются на территории Земли локальным изменением и влияют на развитие биоты, растительности и прямо или опосредованно на эволюцию и свойства почв. Космические поля влияют на развитие почв за длительный промежуток времени и в основном действуют на их эволюцию одинаково, обуславливая циклы изменений свойств почв. Однако они взаимодействуют с геофизическими полями Земли и разными типами почв, растительности и пород неодинаково. Это определяет их разное влияние на развитие почв в локальном масштабе и за короткий промежуток времени.

Совместное действие нескольких геофизических полей на компоненты почвообразующих пород и почв определяется сложением эффекта их действия с учетом векторов и скалярных величин частных эффектов. На породу, почву, воду, растения и биоту почв в значительной степени влияют различные геофизические поля Земли [7]. Среди них необходимо выделить гравитационное, магнитное, электрическое, тепловое поле, поля динамических напряжений, ультразвуковые поля, поля геопатогенных зон, электромагнитные поля различной частоты и длины волны, концентрационные поля, радиационные поля, морфогенетические поля, физические поля биологических объектов [42]. В связи с большой длительностью действия этих полей на породу и почву, на другие факторы почвообразования их влияние на свойства почв, протекающие в них процессы и режимы, энергетическое состояние почв значительно. Изменение действия указанных полей во времени и в пространстве, в свою очередь, также приводит и к изменению свойств почв и так как в разных локальных точках Земли интенсивность полей неодинакова, то неодинаково и их влияние на почвообразование. В литературе имеется достаточное количество сведений о влиянии отдельных геофизических полей на растительные

организмы, биоту и процессы, влияющие на трансформацию органической и минеральной части почв.

Большое количество исследований проведено по влиянию на растения слабых электрических полей [13, 33, 42]. В ряде работ указывается на реакцию растений на слабые электромагнитные поля [53]. Установлено влияние магнитных полей на рост и развитие растений. Так, например, в Курской магнитной аномалии урожай овощей был выше на 10 ц/га по сравнению с аналогичными почвами области с нормальным магнитным полем. Влияние магнитных полей на свойства почв и урожай иллюстрируется и нашими данными. Магнитные поля разной интенсивности коррелируют с биотопроductивностью угодий, с плодородием, с гумусированностью. Так, на примере Кустанайской обл. Казахстана ($n=25$) установлены связи гумусированности X и мощности гумусового слоя X , с величиной магнитного поля в миллиэрстедах ($n=50$).

Отмечалась связь с магнитными аномалиями и балла почв. Так, при магнитном поле $> +20$ миллиэрстед балл почв составлял $49,5 \pm 8,5$; при поле от $+20$ до 0 балл равнялся $43,7 \pm 12,8$; при магнитном поле меньше -5 балл почв составлял $70,7 \pm 10,5$; при поле от 0 до -5 балл почв равнялся $61,2 \pm 8,4$. Значительная солонцеватость почв отмечается при магнитном поле от $+4,1$ до $\pm 1,7$, а малая доля натрия в ПИК наблюдалась как при магнитных полях $+32,3 \pm 8,09$, так и при магнитных полях $-5,5 \pm 1,4$ миллиэрстед.

Отношение $(Ca+K):(Mg+Na)$ в горизонтах А и ВС составляло при слабом гравитационном поле 2,6; а при более сильном — 2,4. Соотношение $Fe:Mn$ в растениях пшеницы составляло при слабом гравитационном поле в корнях 0,2; в стеблях — 0,2; а при более сильном — соответственно 0,7 и 0,2.

Гравитационное поле локальных участков в значительной степени определяется глубиной залегания кри-

сталлического фундамента и составом пород. По полученным данным, установлена тесная обратная зависимость степени гумусированности и емкости поглощения почв от глубины залегания кристаллических пород.

Возраст почв как фактор почвообразования

Возраст почв выделяется в качестве одного из основных факторов почвообразования [11, 31, 44, 51]. Развитие любого процесса определяется интенсивностью воздействия и продолжительностью действия внешнего фактора. Произведение интенсивности воздействия на продолжительность воздействия определяет мощность воздействия внешнего фактора на почву. Однако происходящие изменения (переход количественных изменений в качественные) протекают скачкообразно. Переход почвы из одного состояния в другое происходит только после накопления изменений до определенного порогового уровня. П.С. Коссович [26] считал, что всякая почва представляет собой лишь одну из стадий почвообразования. При этом всякое почвенное образование данного времени отражает всю прошлую историю.

Следует отметить, что влияние отдельных факторов почвообразования на формирование почв определяется не только интенсивностью и продолжительностью их действия, но и закономерной сменой воздействия на объект во времени или по фазам развития растений, стадиям развития почв. Например, степень влияния на баланс веществ в почве количества выпадающих осадков зависит от времени их выпадения и от сочетания количества выпадающих осадков, температуры и интенсивности солнечной радиации [18]. Влияние на почву таких факторов почвообразования, как климат, растительность, микробиологическая активность закономерно меняется в многолетнем и сезонном циклах. Это

вызывает многолетние и сезонные циклы изменения свойств почв, гистерезисные изменения. С нашей точки зрения, весь почвообразовательный процесс состоит из чередования таких циклов. При этом необратимые изменения постепенно накапливаются, и после достижения их определенного уровня происходит переход почвы в новую стадию развития [40, 41].

Закономерная смена процессов во времени и в пространстве характерна не только для растительных ассоциаций, сукцессий микроорганизмов, но и, очевидно, для всех процессов трансформации в почве минеральной и органической части, эволюции почв. На одну и ту же почву нельзя подействовать дважды. Любое воздействие на нее изменяет ее свойства, и каждое воздействие осуществляется на качественно и количественно измененный новый субстрат. При этом меняются как преобладающие почвообразовательные процессы, так и скорость протекающих процессов. При эволюции почв изменяются их свойства, меняется растительность и микроклимат, что приводит в конечном итоге к формированию других почв.

Время является неотъемлемой формой существования почв и, с нашей точки зрения, должно учитываться как коэффициент, уточняющий влияние других факторов почвообразования (X) на свойства почв (Y). В.В. Докучаев [14] писал, что «почва — есть функция (результат) от материнской породы (грунта), климата и организмов, помноженная на время».

На каждой стадии эволюции почв свои наиболее эффективные факторы почвообразования. При этом меняется все влияние факторов на почву и скорость процессов. Например, скорость процессов оглеения, оподзоливания, дернового процесса и т.д. Скорость почвообразовательных процессов является интегральной характеристикой скорости частных реакций, внешне — диффузионной, внутри — диффу-

зионной и химической кинетики разных порядков [41]. Эффект действия внешнего фактора на определенные свойства почв определяется интенсивностью действия фактора, например, температурой, продолжительностью действия фактора (дней, месяцев).

С нашей точки зрения, перспективно выделять время и как критерий долговечности почв, продолжительности их развития, как критерий молодости, старости (фаз развития почв), как показатель, характеризующий мощность воздействия внешних факторов на почву Ut , где U — интенсивность воздействия и показатель, характеризующий мощность воздействия одних свойств почв на другие. Например, $CN^+ \cdot t$, при оценке влияния рН на процессы элюирования и т.д. Аналогичный подход и при оценке скорости процессов деградации почв.

В то же время показатель времени важен при оценке взаимосвязей в экологической системе. Например, секвойя растет 1000 лет, а некоторые растения — 3 мес. Очевидно, что показатели плодородия почв будут отличаться в зависимости от продолжительности функционирования объекта (в т.ч. и почв) и от скорости процессов в нем (кратности включения биофильных элементов и токсиантов в процессы метаболизма, скорости обновления популяций, микробных сообществ и т.д.).

Большое значение имеет регулирование скорости и интенсивности протекающих в почве почвообразовательных процессов. Как известно, в почвах таежно-лесной зоны интенсивно протекает процесс подзолообразования и для достижения оптимальных для с.-х. растений величин рН приходится проводить через 5-6 лет повторное известкование. Однако в опытах, проводимых в течение 39 лет на дерново-подзолистых суглинистых почвах под руководством И.С. Шатилова и А.Г. Замаева [18], величину рН удалось поддерживать в течение

всего срока проведения опыта только за счет однократного известкования в момент закладки опыта. Уменьшение интенсивности подзолообразования было достигнуто за счет правильной системы севооборота, удобрений и обработки при переносе кальция и магния из нижних слоев почв в пахотный горизонт, при увеличении содержания подвижных форм этих элементов за счет накопления большей массы послеуборочных и корневых остатков и усиления биохимического разложения алюмосиликатов [43]. При этом на слабокультуренной почве в звене 7-польного полевого севооборота рН в период с 1967 по 2002 гг. поддерживалось на уровне 4,4-4,6, а в хорошо окультуренной удобренной почве — на уровне 5,9-6,2.

Дополнительные параметры оценки влияния факторов почвообразования на формирование и эволюцию почв

С нашей точки зрения, при оценке влияния факторов почвообразования на образование и эволюцию почв перспективно оценивать следующие дополнительные параметры: код воздействия внешнего фактора на почву; синергизм и антагонизм совместного влияния внешних факторов; зависимость эффекта воздействия от векторов и скалярных величин внешних факторов; гистерезис. Влияние внешних и внутренних (саморазвитие) факторов на эволюцию почв целесообразно рассматривать на разном иерархическом уровне.

1. Эффект действия любого внешнего фактора на почву определяется интенсивностью воздействия (Y), продолжительностью (t), мощностью (M), градиентом во времени и в пространстве ($(M/T) : (M/L)$), закономерной сменой воздействия во времени. В то же время эффект воздействия внешнего фактора на почву определяется устойчивостью почв к этому воздействию. При этом на почву действует всегда несколько внешних факторов, и

эффект действия любого из них зависит от одновременного действия других факторов. В связи с этим, например, нельзя оценивать опасность солонцеватости почв только по содержанию натрия в растворе или в ППК без учета минералогического состава, гумусированности, емкости поглощения, рельефа, климата и т.д. [41, 55].

Взаимосвязь факторов почвообразования иллюстрируют и рассчитанные нами данные по развитию эрозии в Кустанайской обл. При степени развития эрозии до 5% глубина расчленения рельефа составляла $14,5 \pm 2,7$ м; частиц менее 0,01 мм было $26,7 \pm 4,9$; сток составлял $8,7 \pm 0,9$; осадки за теплый период 257 ± 15 ; при степени развития эрозии 10% рассматриваемые показатели составляли соответственно $16,6 \pm 5,0$; $27,2 \pm 6,8$; $15,0 \pm 3,0$ и 216 ± 11 ; при степени развития эрозии 25-50% рассматриваемые показатели составляли соответственно $47,5 \pm 13,8$; $50,0 \pm 5,0$; $15,0 \pm 5,4$ и 225 ± 26 мм.

2. На породу воздействуют одновременно несколько факторов почвообразования на разном иерархическом уровне. Каждый из них вызывает изменение свойств почв (процессов) в определенном направлении. Это изменение характеризуется вектором и скалярной величиной. Совместное изменение под воздействием нескольких факторов может быть определено сложением векторов. Например, передвижение Fe^{2+} по почвенному профилю определяется гравитационным полем, электрическим, магнитным, концентрационным, всасывающим давлением корней растений и т.д. Очевидно, что векторы действия этих факторов могут быть разнонаправлены.

С нашей точки зрения, при расчете эффекта совокупного действия факторов на почву следует учитывать не интенсивность действия, а вектор и скалярную величину эффекта действия и, например, миграции в разных направлениях. В этом случае при сло-

жении векторов можно не учитывать единицы измерения для воздействующих на породу факторов. Аналогичным образом на породу, например, одновременно действуют климат, растительность и другие факторы на разном иерархическом уровне. В разных направлениях может действовать влажность и температура, всасывающее действие корневых систем растений и влияние разлагающегося опада на кислотность, комплексообразующую способность определяющих миграцию веществ и т.д.

3. В почве широкое распространение имеют гистерезисные изменения [40, 41]. Как известно, гистерезис обозначает запаздывание, отставание следствия от причины, длительное последствие существовавших прежде условий. При рассмотрении процессов почвообразования в первую очередь следует учитывать гистерезис, связанный с сезонными изменениями влажности и температуры, так как в почве одновременно наблюдаются как обратимые, так и необратимые изменения, и петли гистерезиса получаются разомкнутыми. По полученным нами данным, при этом степень разомкнутости петель характеризует степень нестационарности состояния почв, степень неравновесности.

Сезонные изменения свойств почв, связанные с варьированием влажности и температуры, складываются из обратимых гистерезисных изменений, временно необратимых изменений (остаточного гистерезиса) и полностью необратимых изменений. Из наличия циклов таких изменений состоит и весь почвообразовательный процесс.

Таким образом, образование почв и их эволюция является функцией воздействия на породу интегральных показателей: климата, рельефа, растительности, микроорганизмов и другой биоты, геофизических полей Земли, антропогенного воздействия. При этом указанные переменные рассматриваются на разном иерархическом уровне.

Образование почв и их эволюция на более низких иерархических уровнях — есть совокупность свойств, процессов и режимов почв и их изменения во времени. Очевидно, что для практических целей эволюцию почв целесообразно рассматривать как скорость и интенсивность, например, подзолообразования, эрозии, так и изменение рН, суммы поглощенных оснований, минералогического состава и т.д. Дополнительно необходимо учитывать: совокупность свойств почвообразующей породы: ее химического и минералогического состава с учетом геохимических провинций, водно-физических и других свойств породы; сводный показатель климатических условий (влажности, температуры, солнечной радиации, их соотношения в критические фазы развития растений на определенных фазах развития почв); интегральный показатель рельефа (крутизны и экспозиции склонов, их формы, геоморфологии, закономерностей изменения макро-, мезо и микрорельефа, уровня грунтовых вод в пространстве; интегральный показатель влияния на породу растительности, который оценивается в первом

приближении массой, химическим и биохимическим составом опада, влиянием растительности на вертикальные передвижения в профиле почв воды, биофильных элементов и токсикантов и т.д. Также необходимо учитывать: интегральное влияние на породу микроорганизмов и другой биоты, влияние на породу геофизических полей Земли, интегральное влияние антропогенного воздействия.

Эффект влияния рассматриваемых факторов на породу пропорционален времени их воздействия на рассматриваемый субстрат. В то же время эффект зависит от стадии развития почв (степени изменения породы) и от закономерной смены интенсивности воздействия во времени.

Установленные экспериментально рассматриваемые взаимосвязи позволят обосновывать приемы регулирования интенсивности и скорости изменения свойств почв, почвенных и почвообразовательных процессов при целенаправленном изменении отдельных показателей микроклимата, рельефа, состава растительности, микробиологической активности, антропогенного воздействия.

Библиографический список

1. Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. JL: Наука, 1980.
2. Вернадский В.И. Биосфера. М.: Рольф, 2002.
3. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974.
4. Волобуев В.Р. О двух узловых решениях энергетики почвообразования // Почвоведение, 1984. № 7. С. 5-11.
5. Вильямс В.Р. Земледелие с основами почвоведения. М.: Сельхозгиз, 1947.
6. Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. М.: Наука, 1998.
7. Герасимов И.П. Учение В.В. Докучаева и современность. М.: Мысль, 1986.
8. Герайзаде А.П. Преобразование энергии в системе почва — энергия — атмосфера: Автореф. докт. дисс. М., 1988.
9. Глазовская М.А., Геннадиев А.Н. География почв с основами почвоведения. М.: МГУ, 1995.
10. Градусов Б.П. Закономерности географии и генезиса минералого-кристаллохимической основы почв и процессов ее изменения при почвообразовании // Почвоведение, 2005. №9. С. 1138-1146.
11. Геннадиев А.Н. Почвы и время; модели развития. М.: МГУ, 1990.
12. Глинка К.Д. Почвоведение. М.: Сельхозгиз, 1927.

13. *Гордеев А.М.* Биофизические основы адаптивно-ландшафтного земледелия. Смоленск: Смядынь, 1999.
14. *Докучаев В.В.* Избранные труды. М.: АН СССР, 1949.
15. *Духанин Ю.А., Савич В.И., Батанов Б.Н., Савич К.В.* Информационная оценка плодородия почв. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006.
16. *Добровольский Г.В.* Научное и практическое значение исследований речных бассейнов. Межд. науч.-практ. конф. Владимир, 1999.
17. *Джеррад А.Дж.* Почвы и формы рельефа. JL: Недра, 1984.
18. *Замараев А.Г., Савич В.И., Сычев В.Г.* Энергомассообмен в звене полевого севооборота. Ч. 2. Баланс вещества, энергии и информации в звене полевого севооборота на дерново-подзолистых почвах. М.: ВНИИА, 2005.
19. *Звягинцев Д. Г., Добровольская Т.К., Бабьева И.П., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Марфенина О.Е.* Роль микроорганизмов в биоценологических функциях почв. М.: Наука, 2003.
20. *Захаров С.Н.* Почвы горных районов СССР // Почвоведение, 1937. № 6. С. 810-848.
21. *Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О.* Матричная организация почвы. М.: Русаки, 2001.
22. *Иенни Г.* Факторы почвообразования. М.: Ин. лит-ра, 1948.
23. *Костычев П.А.* Почвоведение. М.: Сельхозгиз, 1940.
24. *Ковда В.А., Розанов Б.Г.* Почвоведение. М.: Высшая школа, 1988. Т. 1.
25. *Козловский Ф.И.* Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв. М.: Наука, 1991.
26. *Коссович П.С.* Учение о почве. Ч. 2. С-П., 1911.
27. *Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А.* Компарментация о почвах. Почвоведение, 2005. №1. С. 47-55.
28. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы: его природа, свойства и методы изучения. М.: Изв. АН СССР, 1963.
29. *Красильников Н.А.* Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: АН СССР, 1958.
30. *Мишустин Е.Н.* Эколого-географическая изменчивость почвенных бактерий. М-Л.: АН СССР, 1974.
31. *Морозов А.И.* О почве и почвоведении (взгляд со стороны). М.: Геос, 2007.
32. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв РФ. М.: Наука, 1996.
33. *Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д.* Стационарные электрические поля в почвах. М.: КМК Scientific press, 1996.
34. Память почвы / Под ред. В.О. Таргульяна, С.В. Горячкина. М.: ЛКИ, 2008.
35. *Полынов Б.Б.* Кора выветривания. Избр. труды. М.: Наука, 1956.
36. *Перельман А.И.* Геохимия биосферы и ноосферы // Сб. Биохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С. 86-98.
37. *Реймерс Н.Ф.* Теория, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994.
38. *Роде А.А.* Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М.: Географгиз, 1947.
39. *Роде А.А.* Генезис почв и современные процессы почвообразования. М.: Наука, 1984.
40. *Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л., Амергужин Х.А., Сидоренко О.Д.* Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование. Кустанай, 1999.
41. *Савич В.И.* Физико-химические основы плодородия // Сб. «Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии». М.: МСХА, 2004. С. 144-183.

42. *Савич В.И., Гордеев А.А., Соломатин К.В.* Концентрационные, электромагнитные, биологические поля в почве, как фактор плодородия // Вестник с.-х. науки, 1990. № 4. С. 13-19.
43. *Савич В.И., Сычев В.Г., Замараев А.Г., Сюняев Н.К., Никольский Ю.Н.* Энергетическая оценка плодородия почв. М.: ВНИИА, 2007.
44. *Самойлова Е.М., Толчельников Ю.С.* Эволюция почв. М.: МГУ, 1991.
45. *Соколов И.А.* Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, 2004.
46. *Соколов И.А., Караваева Н.А., Александровский А.Л., Иванов И.В.* Эволюция почв: понятия и термины. Эволюция и возраст почв СССР. Пушино, 1986.
47. *Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпеица И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005.
48. *Таргульян В.О., Фокин А.Д., Соколова Т.А., Шоба С.Э.* Экспериментальные исследования педогенеза: возможности, ограничения, перспективы // Почвоведение, 1989. № 1.
49. *Таргульян В.О.* Элементарные почвообразовательные процессы // Почвоведение, 2005. № 18. С. 1413-1422.
50. *Тонконогов В.Д.* Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1999.
51. *Толчельников Ю.С.* Время и почвы. Изд-во ВГО, 1988. Вып. 1. Т. 118.
52. *Трифонов Т.А.* Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях // Почвоведение, 2005. № 9. С. 1054-1061.
53. *Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тимкин О.Г.* Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев: Наукова думка, 1992.
54. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. М.: АН СССР, 1958.
55. *Хитрое Н.Б.* Выбор диагностических критериев существования и степени выработанности солонцового процесса в почвах // Почвоведение, 2004. №1. С. 18-31.

Рецензенты — д. б. н. Н.Ф. Ганжара, В.Г. Ларешин

SUMMARY

It has been proved in the article that external factors influence on soil properties formation is determined by the effect of substances, energy and information on rock. The role of soil formation factors, local geophysic earth fields, mineralogical makeup, microbiologic activity is stressed in the article. The author offers to take into account some soil formation factors influence on soil forming considering regression dependence of dependent variables — soil properties ($Y_i - Y_s$) upon independent external factors variables ($X_i - X_s$), synergism and antagonism taken into account. The development of certain processes is due to exponential dependence, whereas transition of soils from one stage to another is described by fractal theory. Soil forming process consists of seasonal and yearly soil property changes, described by open hysteresis loop. Consideration of regular change of temporal reactions and processes as successions has been suggested.

Key words: soil, soil formation factors, soil evolution