

МЕХАНИЗМ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЧВ И ЭКОСИСТЕМ

А.С. Керженцев

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пушкино

Статичность и динамичность природных экосистем представляют собой две неприменные ипостаси их состояния. Благодаря статичности – устойчивости во времени структурных элементов – можно отличить одну экосистему от другой. Динамические свойства служат признаками проявления жизненных функций экосистемы. На уровне организма это положение общеизвестно, оно лежит в основе биологической науки. Причем, статические (морфологические) признаки являются объектом изучения анатомии (растения, животные, микроорганизмы), а динамические свойства являются объектом изучения физиологии (растения, животные, микроорганизмы). Методы исследований анатомии и физиологии различаются принципиально. Анатомия оперирует метрическими мерами, которые характеризуют размер, форму (габитус), массу организмов и их органов. Физиология использует признаки и свойства, которые отражают динамику и ритмику процессов, происходящих в организме и его структурных элементах, измеряет скорости процессов, их продолжительность и интенсивность. Анатомия изучает законы пространственной изменчивости и гармонии сочетания структурных элементов, а физиология изучает законы изменчивости во времени, ритмики функционирования организма и его органов. Достижения анатомии используются в систематике, классификации и диагностике биологических объектов. Физиологические исследования являются информационной базой медицинских и ветеринарных наук, растениеводства и животноводства. Стимулом развития этой актуальной области знаний стала востребованность результатов исследований. На современном этапе метаболизм организмов (физиология) изучен не хуже, чем их морфология (анатомия).

Надорганизменный уровень организации живых систем: сообщества организмов (биоценозы), экосистемы (биогеоценозы), ландшафты, биомы, биосфера изучен односторонне. Изученность изменчивости природных систем в пространстве интегрирована в законе природной зональности, а об изменчивости во времени известно очень мало. Возможно это объясняется различной степенью востребованности знаний.

Физическая география, биогеография, геоботаника, почвоведение, ландшафтоведение практически занимались инвентаризацией природных ресурсов методом картографирования. Благодаря широкому развитию картографии был собран материал, достаточный для научного обобщения

и формулирования законов. На этой основе сформулирован закон природной зональности и его производные: закон широтной зональности, закон высотной поясности, закон фациальности, закон аналогичных почвенных рядов. Они общеизвестны и широко применяются на практике.

Изменчивость экосистем во времени изучена гораздо слабее. Есть варианты теории эволюции, эмпирические закономерности сезонной динамики, филоценогенез, сукцессии фитоценозов. Главный закон изменчивости экосистем во времени пока не сформулирован, возможно потому, что в нем до сих пор не было острой необходимости.

Обострение проблем охраны окружающей среды, рационального природопользования и устойчивого развития ставит перед наукой новую актуальную задачу – разработку теории, методологии и технологии управления средой обитания и ресурсами жизнеобеспечения человека как биологического вида. Для ее решения необходимо сменить научные приоритеты, совершить переход от инвентаризации природных ресурсов к управлению качеством среды обитания человека путем рационального природопользования. Для современной экологии это равнозначно переходу в прошлом от анатомии к физиологии.

В настоящее время совершенно недостаточно фактического материала для формулирования законов изменчивости экосистем во времени. Нет общепринятой унифицированной методологии и материально-технической базы для проведения массовых натурных измерений динамических характеристик экосистем и получения статистически достоверного материала, пригодного для широкого обобщения. Нет общепризнанной и четко сформулированной теории функционирования экосистем, несмотря на обилие исследований динамики отдельных параметров различных экосистем.

Очевидно назрела необходимость ускоренного развития того раздела экологии, который изучает законы изменчивости экосистем во времени. Его можно назвать «метаболизм экосистем», как синоним «физиологии экосистем». Но термин «физиология» привязан к организму, а метаболизм можно отнести к экосистеме.

Некоторые современные исследователи, например академик Н.Н. Моисеев, уподобляют экосистему живому организму. Этим лишь подчеркивается единство и взаимозависимость компонентов экосистемы, ее целостность как объекта исследования. Между организмом и экосистемой существует принципиальное различие не только в различной степени сопряженности структурных элементов, но и в механизме реагирования на изменения факторов внешней среды. Организм в ответ на внешние воздействия изменяет функцию для сохранения структуры. Значит механизм устойчивости организма заложен в его физиологии. Экосистема под влиянием внешних воздействий изменяет структуру, сохраняя функцию. Механизм устойчивости заложен в структуре экосистемы.

Поэтому «физиология экосистем» как научная дисциплина, изучающая метаболизм экосистем, в отличие от физиологии животных, растений и микроорганизмов, должна оперировать понятиями «динамичной структуры» и «статичной функции» объектов исследований, т.е. экосистем.

Для изучения метаболизма экосистем необходимо изменить сложившиеся представления о структуре и функциях, абстрагироваться от привычных и справедливых для уровня организма понятий и определений. Нужна иная точка зрения объекта исследований.

На рис. 1 представлена структурно-функциональная схема экосистемы, отражающая механизм функционирования и его взаимодействие с факторами внешней среды. Термины и понятия, процессы и механизмы, отображенные на схеме, известны и популярны в общей и молекулярной биологии применительно к клетке и организму. Наша задача состояла в адаптации этих знаний к уровню экосистемы.

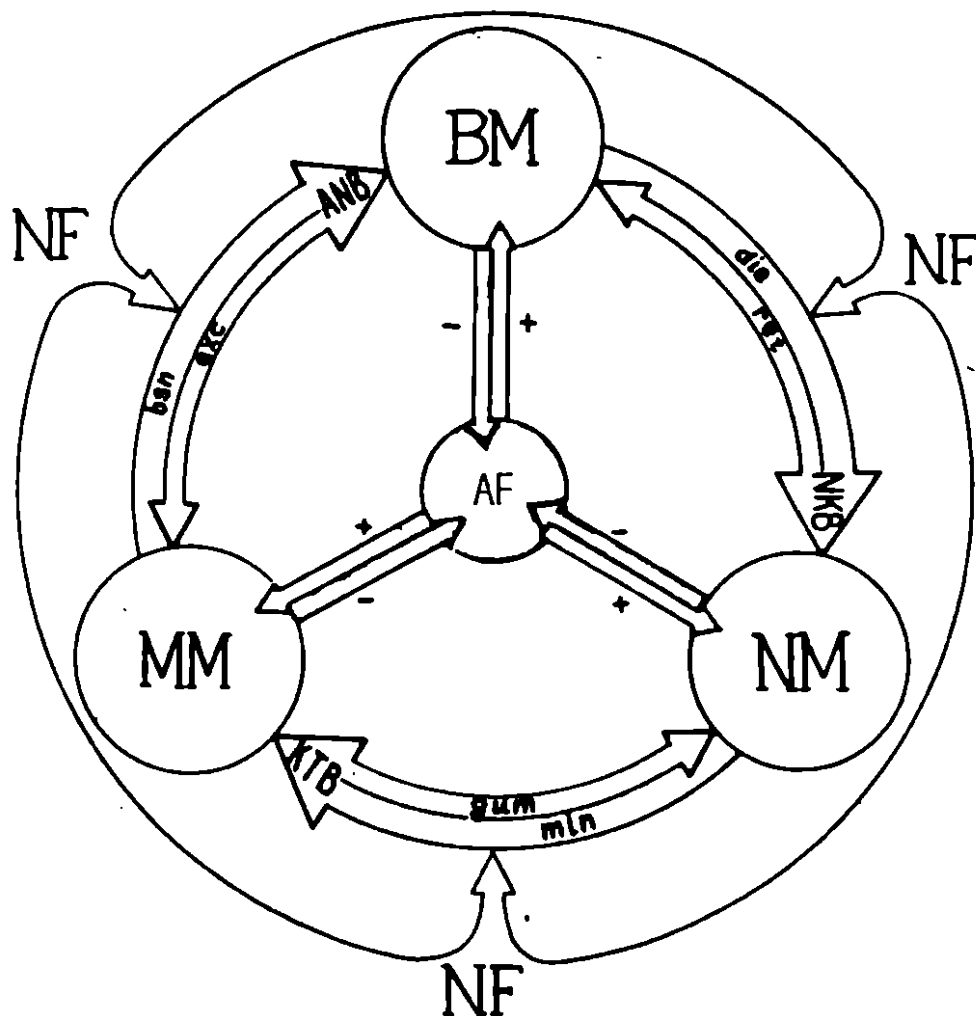


Рис. 1. Структурно-функциональная схема экосистемы. *BM* – биомасса; *NM* – некромасса; *MM* – минеральная масса; *HP* – естественные факторы; *AP* – антропогенные факторы; *AMB* – анаболизм; *МКВ* – некроболизм; *КТВ* – катаболизм; *Бзп* – биосинтез; *exc* – экскреции; (*He* – отмирание; *gel* – возврат ассимилятов; *тт* – минерализация некромассы; *gum* – гумификация)

Общеизвестно, что главной функцией всех живых систем (клетка, организм, экосистема, биосфера) является обмен вещества и энергии или метаболизм – процесс обновления и поддержания массы живого вещества путем взаимодействия двух противоположных процессов: анаболизма и катаболизма. На уровне экосистемы функцию анаболизма или ассимиляции простых минеральных веществ в сложные органические, выполняет фитоценоз – сообщество автотрофных организмов, а функцию катаболизма или диссимиляции сложных органических веществ в простые минеральные, выполняет почва или педоценоз – сообщество гетеротрофных организмов.

Анаболизм не только синтез, но и распад, поскольку складывается из противоположных процессов: фотосинтеза и дыхания. Катаболизм не только распад, но и синтез, поскольку складывается из противоположных процессов: деструкции (минерализации) и вторичного синтеза почвенного гумуса (гумификации).

Кроме анаболизма и катаболизма в функционировании экосистемы участвует еще один процесс, который обозначен термином «некроболизм». Он означает генетически запрограммированный процесс завершения жизненного цикла всех живых организмов, аналогом в общей и молекулярной биологии является «апоптоз». Процесс некроболизма начинается после вступления организма в генеративную фазу, когда значительная часть физиологических процессов направляется на поддержание новой жизни, а не только на собственное жизнеобеспечение. Задолго до отмирания органов растения жизненно важные ассимиляты перемещаются в органы и ткани, продолжающие функционировать: в многолетние ткани, в плоды и семена. У животных в этой фазе происходит передача потомству собственного молока, корма, приобретенных навыков защиты, охоты, обустройства и др.

В экосистеме некроболизм выполняет буферную функцию, которая позволяет процессам анаболизма и катаболизма гармонично взаимодействовать между собой при флуктуациях внешних условий, несмотря на различие реакций на внешние условия. Некроболизм не только отмирание, но и возрождение, поскольку складывается из противоположных процессов: отмирания (некроза) и возврата (транслокации) полезных для потомства ресурсов (ассимилятов) в запасные или репродуктивные органы и ткани.

Главным показателем структуры функционирующей экосистемы является ее интегральная масса, состоящая из трех компонентов: а) биомасса, б) некромасса и в) минеральная масса. Каждый компонент представляет собой одно из трех фазовых состояний интегральной массы экосистемы – «экомассы». Биомасса, в свою очередь, включает в себя фитомассу, зоомассу и микробиомассу. Некромасса состоит из опада, под-

стилки и гумуса. В состав минеральной массы экосистемы входят газы, соли и коллоиды.

Процесс функционирования экосистемы в самом общем виде представляет собой последовательное превращение биомассы в некромассу, некромассы в минеральную массу, минеральной массы в биомассу с помощью процессов анаболизма, некроболизма и катаболизма.

Масса каждого структурного элемента экосистемы величина переменная. Она постоянно обновляется и меняется, как в проточной системе, и зависит от соотношения скоростей процессов синтеза и распада. Например, величина биомассы представляет собой разницу между результативностью процессов анаболизма и некроболизма; некромасса является результатом преобладания результативности некроболизма над результативностью катаболизма. Величина минеральной массы находится в прямой зависимости от соотношения результатов катаболизма и анаболизма.

Метаболизм экосистемы характеризуется емкостью и интенсивностью. Емкость метаболизма измеряется величиной экомассы, а интенсивность – характерным временем ее полного обновления. Характерное время обновления экомассы означает период времени, в течение которого происходит полный цикл превращения экомассы: биомасса + некромасса + минермасса. Еще одной характеристикой экосистемы является качественный состав экомассы, измеряемый соотношением масс ее компонентов – характерный спектр фракций.

Каждая экосистема характеризуется соотношением трех главных параметров: характерная масса, характерное время, характерный спектр фракций. Термин «характерный» означает динамическое постоянство или состояние равновесия динамической системы, функционирующей в стационарном режиме.

Скорость и ритмика процессов анаболизма, некроболизма и катаболизма в совокупности составляют режим функционирования (метаболизма) экосистемы, который формирует, поддерживает и регулирует структуру экосистемы. Изменить структуру экосистемы может смена режима функционирования под влиянием смены факторов внешней среды.

Факторы внешней среды регулируют метаболизм экосистемы и управляют изменчивостью ее структуры в пространстве и во времени. Многообразие факторов можно объединить в три группы: естественные, антропогенные и смешанные. К естественным факторам относятся: свет, тепло и влага. Роль множества антропогенных факторов сводится к изъятию, привносу и трансформации массы вещества экосистемы. К смешанным факторам относятся: искусственное изменение света, тепла и увлажнения, а также естественное изъятие, привнос и трансформация массы вещества в результате экстремальных явлений (пожары, оползни, сели, наводнения и пр.).

Воздействия естественных, антропогенных и смешанных факторов имеют принципиально разные последствия для экосистем. Естественные факторы ускоряют или замедляют процессы функционирования, регулируя их интенсивность. Антропогенные факторы воздействуют непосредственно на массу экосистемы и ее структурных элементов, изменяя ее количество и качество.

Иногда естественные процессы оказывают прямое воздействие на массу экосистемы: пожары, инвазии энтомофитов, наводнения, обвалы, оползни и другие стихийные бедствия. Некоторые антропогенные факторы оказывают прямое воздействие на процессы функционирования экосистем: распашка земель, орошение, осушение, мульчирование и другие меры, стимулирующие метаболизм экосистемы.

Из сказанного выше следует, что естественные факторы могут изменить структуру экосистемы только в случае долговременной смены режима функционирования под влиянием устойчивой смены гидротермических условий. Стабильное отклонение от нормы внешних условий изменяет интенсивность функционирования, а изменившиеся функции, адаптированные к новым условиям, нарабатывают новые структурные признаки. Новая структура позволяет экосистеме успешно функционировать в изменившихся условиях внешней среды. Процесс идет плавно, без скачков.

Антропогенные факторы способны резко изменить структуру экосистемы, поскольку оказывают прямое воздействие на величину и состав ее массы. Воздействия на экосистемы антропогенных факторов можно сравнить с природными катастрофами.

Смешанные факторы могут оказывать прямое влияние как на функции, так и на структуру экосистемы. Типичным примером может служить культура закрытого грунта, где искусственно регулируется весь набор естественных факторов среды: свет, тепло, влага, а также масса почвы и элементов минерального питания. Целью таких воздействий является получение максимальной биомассы или ее части, наиболее полезной для человека.

Примером противоположного плана является уничтожение фитомассы в результате инвазии саранчи или сибирского шелкопряда, которые почти всегда сопровождаются сменой микроклимата и соответствующими изменениями скорости функционирования экосистемы.

Изучение метаболизма экосистем, функциональных связей между их компонентами, реакций механизма функционирования на изменения факторов внешней среды необходимо для разработки теории, методологии и технологии управления функциями природных, аграрных и урбанизированных экосистем. С ее помощью станут возможными решение сложных экологических проблем как инженерных задач с соответствующим техническим и информационным обеспечением, прогнозированием воз-

можных позитивных и негативных, ближайших и отдаленных последствий управленческих решений.

Нужна экспериментальная база, позволяющая моделировать механизм функционирования экосистем и контролировать результаты математического моделирования. Полевые стационарные исследования и эксперименты требуют длительного времени, больших материальных затрат. Кроме того, они не позволяют изучать, контролировать и регулировать отдельные параметры экосистем, чтобы оценить роль каждого в общем процессе метаболизма. Поэтому более предпочтительными являются методы математического и физического моделирования функций экосистем с последующим выборочным контролем результатов моделирования в природных условиях. Они позволяют исследовать простые закономерности с короткими характерными временами и переносить полученные результаты на процессы более длительные и сложные.

Главным критерием изменчивости и устойчивости экосистем является совокупность диагностических признаков, определяющая их принадлежность к определенному таксону классификации. Изменчивость в пространстве оценивается по трем категориям: пестрота, топография, география. Изменчивость во времени также делится на три категории: флуктуации, метаморфозы, эволюции.

Пестрота и флуктуации относятся к устойчивости экосистем в пространстве и во времени, они означают изменчивость в пределах диагностического диапазона. Экосистема меняется, но в остается в прежнем качестве, т.е. в рамках таксона классификации. Только пестрота означает стабильность экосистемы в пространстве, а флуктуации – во времени. Следующая категория изменчивости (топография и метаморфоз) означает переход экосистемы в другое качественное состояние, т.е. в другой таксон классификации. Топография характеризует изменчивость в пространстве, а метаморфоз – во времени. И наконец, высшие категории изменчивости (география и эволюция) представляют собой фундаментальные закономерности превращения таксонов в пространстве (география) и во времени (эволюция). Изменчивость в пространстве подчиняется закону природной зональности, а закон изменчивости во времени еще предстоит сформулировать.

Современные классификации природных экосистем оперируют устойчивыми во времени физиономическими параметрами и позволяют объективно оценивать только изменчивость их в пространстве методом картографирования. Для оценки изменчивости во времени статические параметры не пригодны. Здесь нужна другая классификация, основанная на динамических показателях, информативных во времени. Динамические параметры должны фиксировать количественные изменения функций экосистем в суточном, сезонном, годовом и многолетнем циклах.

На основе существующей классификации при помощи сравнительно-географического анализа реальных ситуаций можно строить только предположения об изменчивости экосистем во времени.

Ниже приведены два примера изменчивости почвенно-растительного покрова в результате воздействия экстремальных естественных факторов зоогенного характера. В одном случае изменчивость почвенного покрова во времени стимулируется массовым размножением сибирского шелкопряда, а в другом – животными – землероями.

Восстановительные сукцессии фитоценозов известны давно и являются аргументом для оценки сравнительной устойчивости разных экосистем к различным факторам негативного воздействия. Инициаторами сукцессий обычно являются экстремальные ситуации: пожары, инвазии эитомовредителей, распашка земель, обвалы, оползни, климатические аномалии и т.п. Как правило, анализ сукцессии завершается после полного или частичного восстановления видового состава фитоценоза. Предполагается, что дальнейшая судьба экосистемы – бесконечно долгое пребывание в стадии климакса. Однако экосистема как и организмы, составляющие ее биоту, после достижения зрелости переходит во вторую фазу жизненного цикла неизбежного отмирания или некроболизма. В разных экосистемах некроболизм происходит по-разному, однако завершается он всегда полной сменой фитоценоза. Об изменениях почвы за этот период известно мало, поскольку почву принято считать инертной частью экосистемы, изменяющейся в масштабе геологического времени.

Такое положение противоречит определению экосистемы как целостной природной единицы, выполняющей функцию круговорота вещества или метаболизма. Составляющие этого процесса: анаболизм, осуществляемый фитоценозом, и катаболизм – почвой (педоценозом), должны функционировать синхронно, согласованно. Значит почва обладает не одним характерным временем геологического масштаба.

Практика земледелия и мелиорации дает множество примеров коротких изменений важных свойств почвы в течение 3–5 лет. И.А. Соколов и В.О. Таргульян (1976) высказали идею о наличии у почвы двух характерных времен и предложили различать «почву-память» и «почву-момент». Это было первым признанием почвоведов наличия в почве параметров, меняющихся в годовом, сезонном и суточном циклах. Изучение режимов тепла, влаги, дыхания, почвенных растворов осуществлялось без общей теоретической основы, как экзотика, и сводилось к статичной оценке типа режима как дополнительного диагностического признака.

Приведенные ниже примеры циклических метаморфозов почвенно-растительного покрова Западной Сибири и Прикаспийской низменности, иллюстрируют механизм пространственно-временной изменчивости экосистем с помощью сравнительно-географического метода.

Пример 1.

Исследователей подзолистых и серых лесных почв с давних пор интересовало происхождение второго гумусового горизонта (A2h, Bh), встречающегося в некоторых почвенных профилях в виде темной полосы или серии темных пятен на контакте подзолистого и иллювиального горизонтов [Гордягин, 1901; Драницын, 1914; Глинка, 1923; Горшенин и Сельская, 1929; Ильин, 1929, 1937; Петров, 1937; Иванова и Двинских, 1944; Кузнецов, 1948] и многие другие. Особенно возрос этот интерес в 60-е годы в связи с появлением новых данных, характеризующих физико-химические свойства этого горизонта в почвах различных регионов, состав гумуса и его абсолютный возраст [Будина и Ерохина, 1969; Гаджиев, 1964; Герасимов, 1962; Добровольский и др., 1970; Ковалев и Гаджиев, 1968; Кузьмин, 1969; Пономарева, 1956; Пономарева и Толчельников, 1968; Толчельников, 1970; Уфимцева, 1965, 1970; Хантулев и др., 1969; Хисматулин, 1970) и др. Новая волна интереса к этому вопросу прошла в 80-е годы [Нечаева, 1985; Караваева и др., 1986].

Упомянутые авторы согласованно показывают, что A2h выделяется в почвенном профиле не столько количеством, сколько качеством гумуса, его гуматным составом. В гумусе A2h действительно преобладают гуминовые кислоты фракции 2, характеризующиеся высокой оптической плотностью. Однако накопленный материал не позволяет однозначно решить вопрос о происхождении второго гумусового горизонта и он до сих пор остается предметом дискуссий.

Большинство исследователей считает второй гумусовый горизонт реликтом древнего почвообразования, результатом оподзоливания или осолодения [Иванова и Двинских, 1944], существовавших на этом месте в голоцене почв с развитым гумусовым профилем (черноземы, лугово-черноземные, лугово-болотные почвы и т.п.) под влиянием смены общеклиматических условий.

Некоторые авторы, не отрицая реликтового происхождения горизонта, выразили сомнение по поводу столь длительной сохранности древнего гумуса и предположили, что исходным процессом формирования «реликтового» гумуса может быть гумификация торфа современных болотных почв при изменении их гидрологического режима [Глинка, 1923; Гаджиев, 1968] или временное преобладание дернового процесса над подзолистым при смене растительности [Тюлин и Россохина, 1967].

Другая, менее многочисленная, группа исследователей считает второй гумусовый горизонт современным иллювиально-гумусовым образованием [Горшенин и Сельская, 1929; Ильин, 1929; Тюрин, 1939; Кузнецов, 1948; Пономарева, 1956; Пономарева и Толчельников, 1968]. Эта концепция наиболее полно сформулирована и аргументирована в работах В.В. Пономаревой (1956, 1968), где автор доказывает, что горизонт A2h образуется в настоящее время при постепенном насыщении и закреплении

нии движущихся сверху неполно усредненных воднорастворимых гуминовых кислот. Отмеченную ранее Д.А. Драницыным (1914) и И.М. Гаджиевым (1964) более яркую морфологическую выраженность горизонта у менее дренированных почв она считает результатом внутрпочвенной склоновой миграции гумусовых растворов и их аккумуляцией в понижениях рельефа.

Веским аргументом в пользу реликтовой гипотезы считается абсолютный возраст гуминовых кислот (радиоуглеродные датировки). Анализ показал, что второй гумусовый горизонт дерново-подзолистых почв Западной Сибири старше верхнего на 4–6 тыс. лет [Добровольский и др., 1970; Толчельников, 1970]. Но и здесь возникают сомнения. Во-первых, нижние горизонты всех без исключения естественных почв старше верхних [Арсланов и др., 1970; Герасимов, 1970]. Во-вторых, некоторые почвоведы справедливо сомневаются в надежности измерения радиоуглеродным методом абсолютного возраста гуминовых кислот «живых» почв [Дюшофур, 1970; Ковда, 1969; Paul et al., 1964].

Отдельные авторы допускают возможность одновременного существования почв как с реликтовым A2h, так и с современным, образующимся в наши дни [Ковалев и Гаджиев, 1968; Наумов, 1960; Тюлин и Россохина, 1967]. Такое допущение видимо следует считать правомисным ввиду отсутствия в настоящее время достаточно объективных аргументов, способных однозначно подтвердить или опровергнуть одну из гипотез.

В исследованных нами подзолистых и серых лесных почвах южной тайги Причудымья (Обь-Енисейское междуречье) второй гумусовый горизонт обнаруживается довольно часто в виде темной или черной полосы, расплывчатых темных пятен, ясно видимых на светлом фоне подзолистого горизонта. Почвы с A2h встречаются на различных элементах рельефа под темнохвойными, лиственными и смешанными лесами, а также на типичных здесь обширных гарях и «селанях» (полянах). Строгой приуроченности их к определенным элементам рельефа или типам растительности установить не удалось. На эту сложность указывают и другие авторы [Драницын, 1914; Иванова и Двинских, 1944; Тюлин и Россохина, 1967] и др.

Глубина залегания A2h колеблется в пределах 20–80 см от поверхности почвы. Степень его морфологической выраженности не всегда коррелирует с аналитическими данными. Иногда этот горизонт, хорошо выраженный морфологически, не выделяется по данным физико-химического анализа. И наоборот, слабо выраженный морфологически, он проявляется в гуматном составе органического вещества на общем фульватном фоне.

Микроморфологическое изучение этого горизонта выявило четыре формы морфологического проявления гумуса (рис. 2):

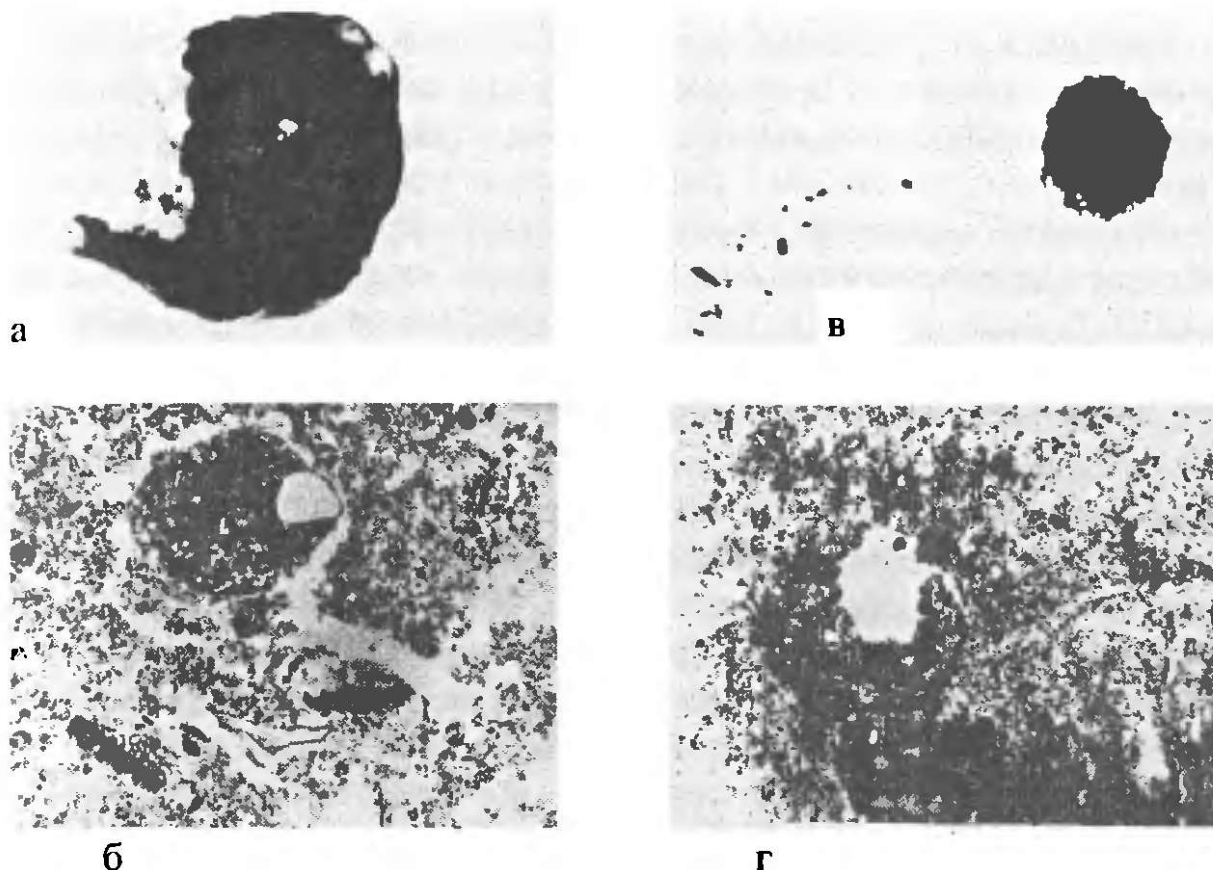


Рис. 2. Микроморфология форм гумусовых скоплений в гор. А2ъ подзолистой почвы: а) микроортштейны; б) микробрекчии; в) дробовины; г) сыпь в колломорфной глине

1) микроортштейны (рис. 2а) – железистые стяжения или зерна минералов, покрытые черной глянцевой пленкой гумуса. Иногда между черной пленкой гумуса и минералом обнаруживается еще одна ярко-оранжевая глянцевая пленка. Размер – 0,03–0,30 мм;

2) микробрекчии (рис. 2б) – округлые агрегаты, состоящие из мельчайших обломков различных минералов, сцементированных черной органической массой. Размер – 0,4–0,8 мм;

3) дробовины (рис. 2в) – черные шарики с глянцевой поверхностью и заметной на срезе волокнистой текстурой, подобной текстуре древесного угля, резко проявляют свойства гидрофобности. Размер шариков – 0,7 – 1,0 мм;

4) сыпь (рис. 2г) – тонкая черная пыль (0,01–0,03 мм), густо пропитывающая бурую колломорфную глину или заполняющая слепые внутриагрегатные поры.

Почти всегда в этом горизонте содержатся обугленные растительные остатки, сохранившие клеточное строение, а также мелкие и мельчайшие обломки древесного угля (0,01–0,02 мм), рассеянные по массе мелкозема.

В начальный период исследования почв Причулымья мы руководствовались гипотезой о реликтовой природе А2h [Керженцев, 1970]. Затем, при более углубленном знакомстве с изменениями в пространстве характерных признаков этих почв, появились обстоятельства, заставившие усомниться в приложимости реликтовой гипотезы к почвам данного региона.

Во-первых, согласно реликтовой гипотезе, А2h должен раньше всего исчезнуть в дренированных почвах и дольше сохраняться в почвах понижений. Однако на водоразделах в Причулымье почвы с ярко выраженным А2h встречались гораздо чаще, чем вблизи естественных понижений (р. 13, 22).

Во-вторых, если А2h действительно реликт высокогумусного профиля, исчезающего под действием подзолистого процесса, то максимальной его сохранности надо ожидать в самых нижних горизонтах, куда еще не достиг процесс оподзоливания, тем более, по мнению И.П. Герасимова (1970), почва растет вверх. На самом деле темная полоса или серия темных пятен чаще всего выделяется на фоне элювиального подзолистого горизонта, где разрушатся даже минералы. Гумус слишком динамичная и неустойчивая система, чтобы сохранить все компоненты в течение 5–8 тыс. лет после коренного изменения породивших его условий. Кроме того, анализ качественного состава гумуса показал, что гумус А2h в разных почвах представлен разными фракциями гуминовых кислот, что указывает на отсутствие единого, общего для всех почв, реликтового предшественника.

С тех же позиций приложимости к условиям Причулымья была рассмотрена гипотеза В.В. Пономаревой (1956; 1968). В первой из упомянутых работ дана логичная и оригинальная трактовка процесса образования А2h, но без указания условий его возможного проявления, что лишает статью доказательности. Во второй работе [Пономарева и Толчельников, 1968] авторы не столько аргументируют свою оригинальную гипотезу, сколько подвергают сомнению доказательства оппонентов. Кстати, Ю.С. Толчельников вскоре (1970) изменил свою точку зрения в пользу реликтовой гипотезы.

Мы попытались, насколько это возможно, определить те экологические условия, при которых образование А2h, согласно гипотезе В.В. Пономаревой, наиболее вероятно, чтобы таким опосредованным способом подойти к объяснению его генезиса в почвах Причулымья.

Сразу же возник вопрос о принципиальной возможности образования гуматного гумуса в почвах южной тайги. Здесь встречаются дерново-глесвые почвы с темным гумусовым горизонтом. Но их формирование связано, как правило, с заболачиванием дерново-подзолистых или серых лесных почв. Этот гуматный гумус сформировался в анаэробных условиях.

Более вероятно для подзолистых почв южной тайги формирование гуматного гумуса после удаления лесного полога пожаром, вырубкой, инвазией энтомовредителей на больших площадях. В этом случае на поверхности почвы формируются гидротермические условия, идентичные условиям лесостепной зоны, которые стимулируют развитие дернового процесса с формированием темноцветного гумусового горизонта.

По оценкам Н.Г. Коломийца (1957), М.И. Куликова (1966), В.В. Фуряева (1966) только за период 1952–1957 гг. на территории Обь-Енисейского междуречья в Причулымье в результате инвазии сибирского шелкопряда погибло около 4 млн га высокобонитетных темнохвойных лесов. Такого масштаба инвазии в зоне южной тайги повторяются довольно регулярно.

Во время массового размножения миллионы гусениц сибирского шелкопряда уничтожают хвою и обрекают деревья на гибель. В результате крупные лесные массивы превращаются в кладбища мертвых деревьев, в пустыри, захламленные сухостоем и валежной древесиной. Площади отдельных очагов повреждения (шелкопрядников) колеблется от 500–700 га до 6–10 тыс. га, а в отдельных случаях – даже до 70–150 тыс. га (Долгоунские гари).

Гибель древесного яруса сопровождается резким изменением всей экологической обстановки в шелкопряднике. В первую очередь изменяется фитоклимат территории. По наблюдениям М.И. Куликова (1966), летом среднемесячная температура приземного слоя воздуха в шелкопряднике повышается на 3–5 градусов, освещенность поверхности почвы возрастает в 2–3 раза по сравнению с неповрежденными участками леса.

Кроме этого, гусеницы сибирского шелкопряда после поедания хвои образуют значительную массу экскрементов, покрывающих поверхность почвы сплошным органо-минеральным слоем, который существенно меняет скорость и направленность биохимических процессов в почвах. По данным Н.Г. Коломийца (1957), за 3–4 недели активной жизни гусеницы шелкопряда образуют на поверхности почвы слой экскрементов мощностью до 4–5 см, что составляет массу 16–30 т/га. Практически мгновенно формируется новый органический горизонт почвы. Каждая тонна экскрементов содержит в кедровниках 20,4, в пихтачах – 68,8, в ельниках – 124,0 кг кальция. Такая добавка стимулирует дерновый процесс в почвах и образование гуматного гумуса.

Столь глубокое изменение экологических условий сопровождается буйным развитием травянистой и кустарниковой растительности [Куликов, 1966; Фуряев, 1966]. Увеличение количества тепла, аэрации и оснований активизирует микрофлору и фауну почвы, которая сверхактивно разлагает экстремально большую массу опада и отпада, в которой с годами начинает преобладать травянистая фитомасса. Эти изменения отражаются на ходе гумификации органических остатков, направляя процесс

в сторону увеличения доли гуминовых кислот [Кауричев и др., 1970]. На этом коренные преобразования профиля подзолистых почв не кончаются

Через несколько лет участок тайги, поврежденный шелкопрядом, буквально превращается в склад сухой древесины, заросший густой травянисто-кустарниковой растительностью. Огромные и равномерно распределенные по территории запасы сухой древесины (табл. 1) стимулируют возникновение частых и очень интенсивных пожаров, охватывающих обширные пространства. В Причудлымье наблюдались пожары, при которых в течение 20–30 дней выгорала площадь шелкопрядников в 28–61 тыс. га [Фуряев, 1966].

Таблица

Масштабы озоления фитомассы при выгорании шелкопрядника

Вид горючего материала	Запас, т/га	Сгорает при пожаре		Зольность, %%	Выход золы, ц/га
		%%	т/га		
Древесина	210,0	40–60	80–120	0,41	3,4–4,9
Сучья	24,0	30–60	7,2–14,4	2,62	18,9–37,3
Опад	9,5	70–80	6,7–7,6	3,06	20,5–23,3
Подстилка	32,0	10–30	3,2–9,6	5,96	19,1–57,2
Ветошь трав	5,5	30–50	1,7–2,8	3,21	5,5–9,0
Всего	281,0		98,8–154,4		68,9–130,2

Как видно из таблицы, во время пожара сгорает полностью 100–150 т/га органических остатков, в результате чего образуется 70–130 ц/га древесной золы. Наши измерения показали, что водная вытяжка древесной золы имеет сильнощелочную реакцию (рН 9–12), а щелочь как известно, является хорошим экстрагентом почвенного гумуса и вполне может содействовать его транзиту из верхнего горизонта и ниже лежащие. Высокая кислотность на контакте горизонтов А₂ и В₁ способствует осаждению гуминовых кислот именно в этом месте почвенного профиля.

Мы провели эксперимент по оценке возможного изменения рН почвы в результате пожара. На бумажных фильтрах в стеклянных воронках помещали 10 г навески из смеси фракций в различных сочетаниях: а) подзолистой почвы (гор.А₂), б) озоленной и в) обугленной массы опада пихтача разнотравного. Навески промывали многократно дистиллированной водой. После каждой промывки измеряли рН фильтратов.

Результаты измерений, приведенные в табл. 2, показали, что даже после 15 промывок фильтраты с участием озоленных или обугленных остатков оставались щелочными, а фильтрат подзолистой почвы – кислым.

Изменение рН фильтратов после промывки образцов почвы с добавками обугленной и озоленной растительности

Состав навески	рН фильтрата	
	после 1 промывки	после 15 промывок
Зола (10 г)	11,0	8,6
Зола+уголь (5+5)	9,2	8,6
Зола+почва (5+5)	9,7	8,6
Зола+уголь+почва (3+2+5)	9,0	8,3
Почва (10 г)	4,0	4,8

Фильтраты от промывки смеси золы с почвой и особенно золы с углем имели бурую окраску, что указывает на совместное передвижение в растворах оснований и гумусовых веществ. Следует заметить, что присутствие золы не ограничивается нейтрализацией почвенной кислотности. Высокое содержание оснований стимулирует коагуляцию гумусовых веществ и образование гуматов.

Результаты эксперимента позволяют предположить, что одним из последствий интенсивного лесного пожара может быть перемещение гумуса, экстрагированного щелочными растворами, из верхнего горизонта в нижележащие. Задержка на водоупоре иллювиального горизонта с высокой кислотностью благоприятствует более полному взаимодействию компонентов, их осаждению в форме гуматов и закреплению в почве.

Степень трансформации живой и отмершей фитомассы в результате воздействия пожара зависит от влажности материала. Сухая органическая масса при сгорании полностью озоляется, влажная масса частично озоляется, частично обугливается, сырая масса обугливается полностью или частично.

Таким образом, в результате пожара поверхность почвы и ее корнеобитаемые горизонты в значительной степени обогащаются не только зольными элементами, но и древесным углем.

Наши лабораторные эксперименты показали, что из древесного угля с помощью щелочи можно экстрагировать гумусоподобные вещества, которые общепринятыми методами анализа качественного состава гумуса невозможно отличить от почвенного гумуса. Возможно, что часть гумуса A_{2h} является обугленной фитомассой.

Многие почвоведы отмечали высокое содержание частиц угля в почвенных горизонтах на разной глубине до 1 м. Мы обнаружили в почвенном разрезе обугленные корни диаметром 3–5 мм на глубине 210 см от поверхности.

Мелкие частицы древесного угля, обладающие гидрофобностью, могли мигрировать вместе с нисходящим водным стоком по ходам корней почвенным порам и трещинам. Наблюдения в биопочвуляр почвы ненарушенной структуры показали реальность такого объяснения. Более вероятен следующий вариант. Во время лесного пожара во влажной почве при малом доступе кислорода происходит так называемая «цепная реакция горения угля» (тление), когда вся древесная масса по контакту обугливается без остатка, как бикфордов шнур до конца. Этим эффектом пользовались в прошлом углежоги, получая древесный уголь для доменных печей и бытовых нужд (утюги, самовары). Оказывается совсем необязательно нагревать почву выше 200° , чтобы обуглить корни деревьев. Для этого достаточно сжечь пень на влажной почве. Тогда корневая система обуглится в результате цепной реакции тления по контакту, причем каждый корешок обугливается в отдельности.

В следующем эксперименте мы попытались имитировать образование A_{2h} в результате пожара за счет накопления частиц угля в горизонте A_{2h} подзолистой почвы на водоупоре иллювиального горизонта В. Для этой цели массу естественной подстилки пихтача разнотравного, обугленную в муфельной печи при температуре $150-200^{\circ}$, перемешали с почвой разных горизонтов в соотношении 1:10 по весу: 1 часть обугленной подстилки и 10 частей минеральной массы горизонтов А2 и С разного механического состава. После сухого перемешивания в смесях был определен фракционный состав «гумуса» по методу Кононовой-Бельчиковой.

Полученные результаты (табл. 3) оказались довольно близки к естественному составу гумуса горизонта A_{2h} в подзолистых почвах. Эти данные говорят о том, что общепринятый в почвоведении метод не позволяет отличить настоящий гумус почвы от искусственной смеси минеральной массы с древесным углем. Возможно этим обстоятельством объясняется нетипично высокое содержание гуминовых кислот в подзолистых почвах южной и средней тайги, отмеченное некоторыми авторами [Гаджиев, 1964; Калугин, 1969; Добровольский и др., 1969].

Косвенным аргументом в пользу «угольного» состава гумуса A_{2h} является несоответствие его интенсивной окраски содержанию углерода, которое отмечено многими исследователями. Во всех искусственных смесях (1:10) вместо ожидаемых 10% углерода было обнаружено не более 1–3%. Причем, максимальное количество углерода экстрагировано из смеси угля с суглинистым А2, минимальное – с супесчаным А2 и глинистым С.

Возможность нисходящей миграции частиц древесного угля через толщу подзолистого горизонта мы наблюдали в специальном эксперименте с насыпным профилем из материала реальных горизонтов подзолистой почвы в стеклянной колонке (рис. 3). На поверхности «почвы» из реальных горизонтов поместили послойно снизу вверх естественную

обугленную и озоленную подстилку пихтача мшисто-осокового. Для возбуждения микробиологической активности ввели по совету микробиолога И.Л. Клевенской питательную смесь (5% раствор глюкозы, аспарагина и K_2HPO_4). Колонки, закрытые чехлами из черной плотной бумаги, промывали дистиллированной водой с таким расчетом, чтобы периоды высокого и низкого увлажнения чередовались через 10 дней.

Таблица 3

Влияние режима термической обработки фитомассы на групповой состав пирофосфатных экстрактов (по Коноиновой-Бельчиковой)

Вариант опыта: часы экспозиции, Т, °С; вид фитомассы	C _{орг} , % от веса			C _{гк} /C _{фк}	E ₄ /E ₆	
	C _{гк}	C _{фк}	Сумма		ГК	ФК
0 20 P+C	0,32	0,51	0,83	0,63	6,9	6,8
0 20 П+C	0,36	0,56	0,92	0,64	7,4	10,3
10 150 P+C	0,28	0,57	0,85	0,49	8,0	6,3
10 150 П+C	0,33	0,69	1,02	0,48	10,1	6,9
10 200 P+C	0,51	0,44	0,95	1,16	5,4	7,0
10 200 П+C	0,51	0,88	1,39	0,58	6,4	13,0
10 500 P+C	0,13	0,51	0,64	0,25	7,0	2,5
10 500 П+C	0,06	0,76	0,82	0,08	5,2	2,0
20 150 P+C	0,25	0,60	0,85	0,42	9,4	8,2
20 150 П+C	0,32	0,53	0,85	0,60	8,7	6,0
30 150 P+C	0,31	0,56	0,87	0,55	8,3	9,0
30 150 П+C	0,37	0,51	0,88	0,73	7,6	11,4
50 150 P+C	0,34	0,38	0,72	0,90	8,9	9,3
50 150 П+C	0,34	0,31	0,65	1,10	7,7	14,3

Р – растительность напочвенного яруса; П – подстилка пихтача мшисто-осокового; С – лессовидный суглинок; P+C, П+C – смесь растительности и подстилки после термической обработки с лессовидным суглинком в пропорции 1:10.

Через месяц на контакте горизонтов В и С появилось потемнение, которое стало постепенно распространяться вверх до середины гор.В. Затем изменения прекратились. В конце второго месяца эксперимента в середине гор.А2 появилась четко выраженная темная полоса (рис. 3а), которая постепенно стала увеличиваться по мощности и интенсивности окраски (рис. 3б). На исходе третьего месяца после очередного «сухого» периода, темная полоса стала исчезать сверху (рис. 3в) и, наконец, вовсе исчезла (рис. 3г). На ее месте остались бурые пятна. Последующее увлажнение почвенной колонки привело к образованию нового, но уже не

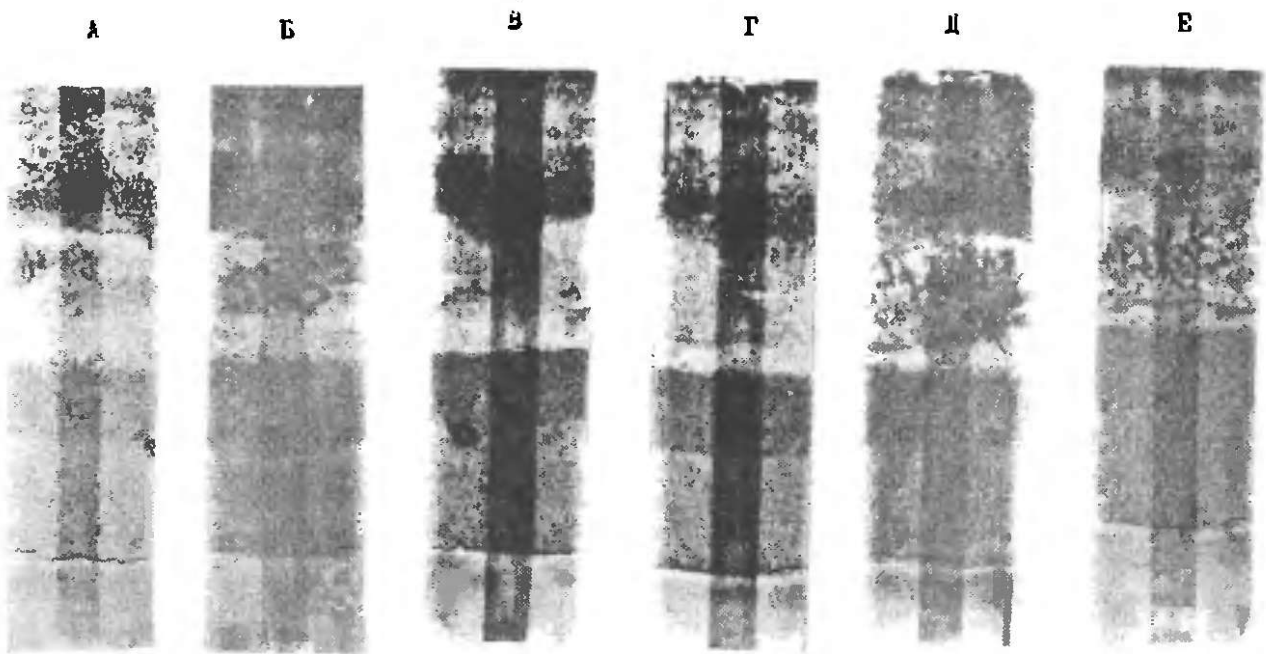


Рис. 3. Фазы формирования (а, б), разрушения (в, г) и вторичного образования А₂ в профиле подзолистой почвы

сплошного и менее интенсивно окрашенного А₂h в виде темных пятен и полос (рис. 3 д, е).

За год эксперимента произошло пятикратное образования и исчезновения гумусового горизонта в слое гор.А₂ насыпной колонки из материала реальных горизонтов подзолистой почвы. В последнем варианте на месте исчезнувших темных пятен образовались яркие ржаво-бурые пятна ожелезнения. Вероятно при переувлажнении в анаэробных условиях происходит нисходящая миграция мелких частиц обугленной подстилки через рыхлую массу гор.А₂ до контакта с водоупором плотного гор.В. После обсыхания в аэробных условиях происходит разложение органического вещества до конечных продуктов и на месте темного пятна остаются продукты его минерализации, которые окрашивают горизонт в бурые тона.

Эти предположения согласуются с литературными данными некоторых авторов. И.А. Соколов и Н.И. Белоусова (1964) отметили обилие древесных угольков в иллювиально-гумусовых горизонтах почв Камчатки. Дс-Бано с соавторами [De Bano et al., 1970] объясняет формирование в некоторых почвах водоотталкивающего слоя с перемещением вниз по профилю гидрофобных органических веществ, образующихся в процессе горения.

Конечно, приведенные факты только косвенно подтверждают возможность существования в подзолистых почвах второго гумусового горизонта современного происхождения. Тем не менее, эта гипотеза имеет право на существование и объективное обсуждение наравне с господствующей реликтовой. тем более, что у последней нет прямых доказательств и их трудно воспроизвести в эксперименте.

Для обоснования гипотезы современной природы A_{2h} необходимо аргументировать еще два важных положения:

1) возможно ли в принципе образование и исчезновение второго гумусового горизонта в подзолистых почвах за сравнительно короткий период 100–150 лет, в течение которого происходит длительно производная сукцессия лесных экосистем;

2) вполне ли адекватен описанный выше механизм формирования и исчезновения второго гумусового горизонта в почвах южной тайги при родному процессу метаморфоза почвы.

Положительные ответы на эти вопросы могли бы существенно подкрепить гипотезу о современной природе A_{2h} .

В литературе имеется много примеров фиксированного времени формирования почвенного профиля на породах известного возраста (крепостные стены, валы, курганы, молодые морены, отвалы и т.п.), которые показывают, что для превращения материнской породы в почвенный профиль достаточно одного столетия. Естественно предположить, что метаморфозы зрелых почв при значительном изменении внешних условий могут происходить и в более короткие периоды времени [Герасимов, 1968; Дюшофур, 1970].

Судьба гумусовых веществ в почвенном профиле определяется соотношением двух противоположных процессов:

а) гумификации разлагающейся некромассы; б) минерализации гумусовых веществ.

Время жизни различных фракций почвенного гумуса (характерное время) существенно различается. Фульвокислоты существуют 1–3 года, гуминовые кислоты – 10–100 лет, гумины – до 500 лет и больше. Даже гумины со временем полностью минерализуются и сменяются новыми. Во всех почвах происходит постоянный процесс естественного обновления почвенного гумуса. При этом каждая фракция имеет собственное характерное время обновления.

Приведенные примеры и собственный опыт полевых наблюдений позволяет предположить, что удаление лесного полога в зоне южной тайги как бы переносит подзолистую почву на период сукцессии в лесостепную югу. Изменившиеся гидротермические условия формируют новый биотоп, который стимулирует развитие высокозольных травянистых видов растений, активизирует почвенную микрофлору, увеличивает скорость биологического круговорота и способствует образованию в почвах гуматного гумуса.

Описанный выше механизм формирования второго гумусового горизонта можно считать частным случаем, поскольку он связан исключительно с катастрофическими сукцессиями темнохвойных лесов южной тайги Причулымья, что не позволяет интерпретировать его как универсальный. Больше того, даже в этих конкретных условиях процесс формирования A_{2h} складывается из двух составляющих, которые могут прояв-

ляться как совместно, так и в отдельности, образуя различные сочетания результатов.

Во-первых, после пожаров, в результате временного преобладания щелочной среды после озоления фитомассы, происходит щелочная экстракция естественного органического вещества верхнего горизонта по вы и подстилки, перенос его в нижележащий A_2 и осаждение на водопрегор. В.

Во-вторых, во время лесных пожаров происходит обогащение толщ подзолистого горизонта древесным углем за счет цепной реакции обугливания сырой подстилки и корней при малом доступе кислорода. В поперечном разрезе обогащенный частичками древесного угля подзолистый горизонт выделяется темной окраской и фиксируется как A_{2h} . Тем более что стандартные методы анализа качества гумуса не позволяют отличить естественный гумус от смеси почвы с древесным углем.

В обоих случаях темноокрашенные органические вещества накапливаются на контакте горизонтов A_2 и В как за счет их разной водопроницаемости, так и вследствие высокой кислотности гор. В, которая стимулирует осаждение гуминовых кислот из щелочных растворов.

Общезвестную приуроченность почв со вторым гумусовым горизонтом к зоне южной тайги можно объяснить следующими соображениями. Во-первых, именно здесь особенно ярко выражен контраст микроклимата под пологом леса и на открытом пространстве. Следовательно удаление лесного полога здесь приводит к резкому изменению процесса почвообразования. На обширных таежных «еланях» среди подзолов часто встречаются дерново-подзолистые почвы с мощным темноокрашенным гумусовым горизонтом.

Во-вторых, зона южной тайги является основным ареалом вредности сибирского шелкопряда [Рожков, 1965], одного из существенных факторов уничтожения темнохвойных лесов на больших пространствах. По данным Н.Г. Коломийца (1957), крупные инвазии сибирского шелкопряда в районе Причулымья наблюдались в периоды: 1914–1917; 1921–1924; 1942–1946; 1952–1957 гг.

Многие исследователи растительности Причулымья отметили существенную роль этого фактора катастрофических сукцессий в формировании растительного покрова южной тайги. По мнению некоторых исследователей [Дробов, 1909; Елизарьева, 1957; Куликов, 1966; Фуряев, 1971] лиственные и смешанные леса этого региона представляют собой различные стадии восстановления коренных темнохвойных насаждений после их гибели в результате инвазий сибирского шелкопряда и последующих пожаров.

Механизм циклического метаморфоза заложен в перераспределении запасов минеральных элементов между ярусами экосистемы: сначала почвы в фитомассу по мере созревания экосистемы и функционирования

ес в фазе климакса, затем обратно после катастрофы. Виды-эдификаторы являются главными потребителями элементов минерального питания, выделяемых почвой в процессе катаболизма. По мере увеличения фитомассы (анаболизм) в нее из почвы переходит все большее количество минеральных элементов, создавая в почве дефицит. По закону минимума из фитоценоза постепенно выпадают виды, чувствительные к дефициту минерального питания, а затем ослабевают и сами эдификаторы. Ослабление эдификатора провоцирует инвазии энтомовредителей и пожары, в результате которых происходит массовое отмирание фитомассы (некроболизм) и перемещение минеральных элементов в почву. Уничтожение лесного полога резко изменяет гидротермические условия на поверхности почвы, поэтому массивированный приток некромассы компенсируется высокой активностью гетеротрофной биоты и способствует сохранению минеральных элементов в новом более устойчивом к минерализации гуматном гумусе.

Пятнистый почвенно-растительный покров южной тайги, включающий лесные поляны, участки жердняка, мелколесья, смешанных и чисто хвойных насаждений (до мертвопокровников) представляют собой моментальный снимок различных фаз циклического сукцессионного процесса. Вследствие того, что фазы имеют разное характерное время, а каждое пятно мозаики должно пройти полный цикл метаморфоза, создается реальная динамическая пестрота (мозаика) покрова. Следующий моментальный снимок через несколько лет отобразит уже иную картину мозаики с иным распределением в пространстве фаз сукцесс. Ускоренная съемка этого процесса создала бы впечатление мерцания мозаики.

Пример 2. Прикаспийская низменность – уникальный природный объект.

По сути это поверхность дна Каспийского моря, обнажившегося в голоцене после отступления вод Каспия до современных границ его акватории. За истекшие тысячелетия на этой поверхности сформировался уникальный ландшафт бессточной равнины с характерной пятнистой мозаикой почвенно-растительного покрова.

Почвенный покров Прикаспийской низменности представляет собой пеструю мозаику, состоящую из ярко выраженных пятен, которые сочетаются в комплексы довольно однообразного состава. В пространстве меняются только количественные соотношения компонентов комплекса. Чаще всего на почвенных картах Прикаспийской низменности выделяются четырехчленные комплексы: каштановые, лугово-каштановые, солонцы и перерытые почвы сусликовых бугорков (бутанов). Лиманные солоды и солончаки образуют, как правило, крупные самостоятельные контуры.

Главной причиной своеобразной для региона пестроты почвенного покрова принято считать пестрый суффузионный рельеф территории,

благодаря которому происходит перераспределение влаги редких дождей и малоомощного снежного покрова на идеально ровной поверхности безвпадинной равнины. Именно дифференциация влаги в пространстве создает такую пестроту почвенного и растительного покрова.

Поверхность Прикаспия представляет собой регулярное чередование отрицательных просадочных и положительных бугорковых форм микро- и мезорельефа с амплитудой вертикальных отметок не более 2 м. Основные типы почв и растительности довольно строго приурочены к элементам микро- и мезорельефа. Отрицательные элементы рельефа (блюды, падьи, лиманы) изометричны, имеют в плане форму правильного круга. Положительные формы рельефа представлены межблюдцевыми плоскими участками и сусликовыми бугорками (бутаны).

Степные блюдца – это округлые понижения диаметром 3–5 м и глубиной 20–50 см, занятые темноцветными лугово-каштановыми почвами. Падьи – более обширные понижения менее правильной формы размером 10–20 м, глубиной до 100 см, занятые лугово-каштановыми слабо-солонцеватыми или осолоделыми почвами. Самые крупные понижения – лиманы – достигают довольно больших размеров – от 1–2 до 3–5 км в диаметре и до 1–2 м глубины. Их почвенный покров представлен лиманными солодами в комплексе с каштановыми солонцеватыми или осолоделыми почвами.

Характерная для Прикаспийской низменности мозаика хорошо видна как в натуре на местности, так и на аэрофотоснимках. Эту картину принято считать неизменной и статичной, поскольку существует она многие тысячелетия. Однако есть основания утверждать, что пятна мозаики довольно быстро меняются во времени и регулярно перемещаются в пространстве. Исследователь, зафиксировавший на карте или аэрофотоснимке мозаичный почвенный покров конкретного участка, через некоторое время при повторной съемке может обнаружить смещение в пространстве комплексов и отдельных почв, иные очертания пятен и иные их сочетания в комплексе.

Вероятно существует какая-то ритмичность этих смен, периодически повторяющихся циклов изменения пятен мозаики. Однако обнаружить это трудно вследствие несоответствия времени жизни наблюдателя и периодичности смен мозаики. Наблюдатель в любое время видит одну и ту же картину пятнистости. Но он не в состоянии оценить идентичность пятен мозаики, их взаимное расположение по прошествии ста или тысячи лет. Поэтому для решения такой задачи необходимо привлекать методы математического и физического моделирования с последующей экспериментальной проверкой точности результатов моделирования.

Сравнительно-географический метод позволяет подобрать в естественном пространстве такие ситуации, которые можно истолковать как последовательные смены во времени фаз развития почвенного покрова.

Как в натуре, так и на аэрофотоснимке легко обнаружить основные структурные элементы, которые можно представить как стадии сукцессии почвенного покрова:

- 1) свеженасыпанный остроконечный сусликовый бугорок (бутан);
- 2) группа соседствующих и сливающихся в один массив бутанов;
- 3) бутан с просевшей вершиной;
- 4) просевший бутан с черной полынью в центре;
- 5) западинка с полынью и злаками в центре;
- 6) степное блюдце, заросшее типчаком с таволгой в центре;
- 7) слившиеся воедино нескольких блюдец, образовавшие падину;
- 8) слившиеся воедино нескольких педин, образовавшие лиман;
- 9) лиман с многочисленными светлыми пятнами на поверхности;
- 10) явная пятнистость в границах лимана.

Все эти формы рельефа связаны между собой единым механизмом сукцессии. В натуре и на аэрофотоснимках отчетливо видны переходные формы, когда внутри крупного понижения прослеживаются исчезающие границы более мелких, слияние соседних бугорков в единый массив. Основной механизма трансформации и метаморфоза почв является процесс суффозии – геологическое явление, инициатор которого – биологический эогенный фактор.

Процесс суффозии представляет собой выщелачивание из почвы или породы легко растворимых солей (хлоридов, сульфатов, карбонатов).

Его следствием является постепенная просадка поверхности почвы и образование замкнутых понижений: блюдец, воронок, педин, лиманов, связанных общим генезисом. Стадии процесса прогрессирующей суффозии последовательно сменяют друг друга.

Сначала появляется сусликовый бугорок, в процессе просадки которого зарождается малое понижение: западинка, воронка, блюдце. Затем понижение увеличивается в размерах, сливается с другими расширяющимися ближайшими понижениями, образуя обширные педины. Педины, постепенно расширяясь, сливаются в обширные лиманы, где исчезают, как бы растворяются все мозаичные структуры, и образуется однородный почвенный и растительный покров, характерный для лиманной солоди.

Со временем под влиянием весенних талых вод, происходит заиливание или вторичное засоление лиманной солоди. При длительном затоплении застойными водами солодь может превратиться в солончак. При обычном режиме затопления и обсыхания в течение 2–3 недель на месте лиманной солоди как правило формируются солонцы или каштановые щелочеватые почвы. В результате этого на поверхности однородного лимана образуются солонцовые комплексы и начнется очередной цикл «мерцания мозаики». Мерцание или смена пятен мозаики происходит потому, что чередование фаз метаморфоза на соседних участках не совпа-

дают во времени. Это несовпадение и фиксирует почвенная карта, которая отображает весь набор фаз метаморфоза.

Инициаторами суффозионных процессов являются грызуны – землерои и в первую очередь суслики. Высокая численность популяции суслика обыкновенного на территории Прикаспия и своеобразная морфология солонцового профиля являются главными двигателями механизма естественной сукцессии почвенно-растительного покрова.

Суслик устраивает свое жилище в норе под сводами водонепроницаемого солонцового горизонта. В процессе рытья норы он выносит на поверхность рыхлый материал карбонатного и гипсового горизонтов, которые залегают непосредственно под иллювиальным горизонтом солонца. В сухом состоянии солонцовый горизонт представляет собой очень плотные, монолитные структурные отдельности (столбики, призмы, глыбы), разделенные широкими трещинами высыхания. При увлажнении весенними тальми водами или во время летних ливней солонцовый горизонт сильно разбухает, становится вязким, гомогенным и не пропускает влагу в нижележащие горизонты почвы. Поэтому карбонатный и гипсовый горизонты находятся в сухом состоянии круглый год и жилище суслика гарантировано от затопления.

Разбухание солонцового горизонта происходит за счет пептизации коллоидов почвенного поглощающего комплекса, обогащенных катионами натрия. Основным приемом мелиорации солонцов с целью улучшения их сельскохозяйственных свойств является гипсование. Кальций гипса замещает натрий почвенного поглощающего комплекса, а вновь образованный легко растворимый сульфат натрия вымывается за пределы профиля.

В результате работы суслика по строительству нового жилища на поверхности солонца образуется конусовидный бугорок высотой 30–50 см и диаметром 1–2 м, состоящий из гипсоносной и карбонатной породы. Во время весеннего снеготаяния, когда Прикаспийская степь выглядит как рыба чешуя из-за блюдец, падин и лиманов, заполненных водой, происходит активное выщелачивание сульфатов и карбонатов кальция из сусликового бугорка вниз до солонцового горизонта. Гипс активно взаимодействует с натрием почвенного поглощающего комплекса солонцового горизонта и разрушает его физико-химическую структуру.

Процесс естественного гипсования без участия человека вызывает «самомелиорацию» солонца, в которой суслик выполняет роль мелиоратора. Через несколько лет под влиянием процесса суффозии происходит просадка сусликового бугорка и его постепенное превращение в степное блюдце.

Вымывание токсичных солей (хлориды и сульфаты) из материала бугорка способствует его зарастанию сначала черной полынью, а затем злаками и разнотравьем. Под пологом растительности значительно активи-

зируется процесс почвообразования. Высокие температуры и добавочное увлажнение в короткий весенний период стимулируют развитие дернового процесса и обеспечивают формирование темноцветного профиля лугово-каштановых почв, характерных для блюдцеобразных понижений.

По мере увеличения глубины просадки и диаметра блюдца происходит их слияние. Соседние блюдца сливаются в падину, а падины, увеличиваясь в размерах и сливаясь с другими падинами, образуют обширные лиманы диаметром 1–2 км и больше. В лимане под влиянием застоя хорошо прогретых весенних талых вод, обедненных кислородом, активно развивается процесс осолодения почв, который гомогенизирует почвенный покров.

В период временного весеннего переувлажнения верхних горизонтов почвы происходит даже кратковременное оглеение почвенного профиля с характерными для него морфологическими признаками: творожистая структура, сизая окраска горизонтов, ржаво-бурые пятна. После испарения влаги, буквально в течение нескольких дней временный профиль с признаками лугово-болотной почвы превращается в профиль обычной лиманной солоды с характерными уже для нее морфологическими и физико-химическими признаками: серая окраска и слоистая структура верхнего горизонта, оливковый цвет и плотная монолитная структура иллювиального горизонта.

Процесс осолодения почв постепенно сменяется солонцовым и под его влиянием формируются каштановые солонцеватые почвы, солонцы и все начинается сначала. Под пологом солонцового горизонта поселяются суслики, их бугорки (бутаны) мелиорируют солонец, который постепенно превращается в луговокаштановую почву, а затем в лиманную солоду. Лиманная солода превращается в солонец или каштановую солонцеватую почву. Все фазы этого процесса хорошо видны как в натуре, так и на аэрофотоснимках. Только в натуре лучше заметны первые фазы: образование и просадка сусликовых бугорков, зарождение и слияние блюдца; а на аэрофотоснимке лучше видны последние фазы: слияние падин и зарождение солонцовых пятен на поверхности лимана.

Цикличность процесса проявляется примерно так же, как в случае сукцессий растительного покрова. Стадии строго следуют одна за другой до климакса, после чего наступает новый цикл и т.д.

В Читинской области нам удалось наблюдать как в течение трех лет после вырубki березового леса и распашки массива, светлоокрашенная мерзлотная дерново-таежная почва превратилась в лугово-лесную почву с профилем, аналогичным чернозему. Резкое различие гидротермических условий под пологом леса и на открытом участке изменило ритмику функционирования экосистемы, которая преобразовала почвенный профиль, привела его в соответствие с новыми условиями экотопа.

Выводы

1. Все компоненты экосистемы функционируют синхронно с динамикой и ритмикой гидротермических условий.
2. Многолетние флуктуации гидротермических условий в рамках ограниченного диапазона создают устойчивую среду определенной ассоциации организмов, которые формируют облик экосистемы.
3. Устойчивые отклонения гидротермических условий в пространстве или во времени образуют новый диапазон среды для другой ассоциации организмов, формирующих другой облик экосистемы. Если изменения наблюдаются в пространстве – это топография экосистем, если во времени – метаморфозы.
4. Тенденция изменений структуры экосистем в пространстве называется географией экосистем, во времени – эволюцией.
5. Антропогенные факторы могут значительно ускорить изменчивость экосистем во времени, поскольку оказывают прямое воздействие на их структуру. Изменчивость во времени неизбежно корректирует картину изменчивости в пространстве.

Литература

1. Арсланов Х.А., Герасимов И.П., Зубков А.И., Рубилин Е.В., Чичагова О.А. Определение возраста чернозема с помощью радиоуглеродного метода // ДАН, сер. геолог. 1970. Т. 192. № 5.
2. Будина Л.П., Ерохина А.А. Генетические особенности дерново-подзолистых глесвых холодных почв со вторым гумусовым горизонтом Красноярского края // Почвоведение. 1969. № 10.
3. Гаджиев И.М. О генезисе вторично-подзолистых почв Васюганья // Тр. Биол. ин-та СО АН СССР. Новосибирск, 1964. Вып. 12.
4. Герасимов И.П. Дерново-подзолистые и серые лесные почвы Приенисейской части Западно-Сибирской низменности // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. Изд. АН СССР, 1962.
5. Герасимов И.П. Современное представление о возрасте почв // Изв. АН СССР, сер. биол. 1970. Вып. 3.
6. Глинка К.Д. Почвы России и прилегающих стран. М., 1923.
7. Гордягин А.Я. Почвы Тобольской губернии // Ежегодник Тобольского губ. музея. Тобольск, 1901. Вып. 12, 9.
8. Горшенин К.П., Сельская Н.В. Почвы Рыбакино-Карагалинского заболоченного пространства // Тр. Гос. почв. ин-та Сиб. отд. М., 1929. Вып. 4, 1.
9. Добровольский Г.В., Афанасьева Г.В., Василенко В.И., Девирц А.Л., Маркова Н.Г. О генезисе и возрасте вторично-подзолистых почв Западной Сибири // ДАН, сер. геолог. 1970. Т. 192. Вып. 3.
10. Добровольский Г.В., Афанасьева Г.В., Василенко В.И., Ремезова Г.Л. О генезисе и географии почв Томского Приобья // Почвоведение. 1969. № 10.
11. Драницын Д.И. Вторичные подзолы и перемещение подзолистой зоны на юге Обь-Иртышского водораздела. Изв. Докучаевского почв. ком-та. 1914. № 2.
12. Дробов В.П. Растительные формации Мариинско-Чулымской тайги. Тр. почв.-бот. экспедиции по исслед. колонизац. р-нов Аз. России. Ч. 2, бот. исслед. Вып. 2. Сиб., 1909.
13. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. М.: Прогресс, 1970.

14. *Елизарьена М.Ф.* Растительность левобережья р. Чулым (в пределах Томской обл.). Уч. зап. Красноярского пед. ин-та, 1957. Т. 10.
15. *Иванова Е.Н., Двинских П.А.* Вторично-подзолистые почвы Урала // Почвоведение. 1944. № 7–8.
16. *Ильин Р.С.* Заметки о рельефе, геологии и почвах левобережья Нарымского края // Тр. Гос. почв. ин-та Сиб. отд. 1929. Т. 1.
17. *Ильин Р.С.* О деградированных и вторично-подзолистых почвах Сибири // Почвоведение. 1937. № 4.
18. *Калугин В.Е.* К характеристике почв бассейна р. Пайдугной // Почвоведение. 1969. Т. 2.
19. *Карапаева Н.А., Черкинский А.Е., Горячкин С.В.* Понятие «второй гумусовой горизонты»: опыт генетико-эволюционной систематизации // Успехи почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 167–173.
20. *Кауричев И.С., Ганжара Н.Ф., Фокин А.Д.* Изучение гумификации растительных остатков в почвах // Изв. ТСХА. 1970. Вып. 1.
21. *Керженцев А.С.* Условия формирования и некоторые свойства почв левобережья Среднего Чулыма // Изв. СО АН СССР, сер. биол. 1970. Вып. 2. № 12.
22. *Керженцев А.С.* Изменчивость почв в пространстве и во времени. М.: Наука, 1993. 110 с.
23. *Ковалев Р.В., Гаджиев И.М.* Вторично-подзолистые почвы Западной Сибири // Лес и почва. Красноярск, 1968.
24. *Ковда В.А.* Действительно ли современные почвы не имеют истории? // Почвоведение. 1969. № 3.
25. *Коломиец Н.Г.* Сибирский шелкопряд – вредитель равнинной тайги // Тр. по лесному хоз-ву Сибири. 1957. Вып. 3.
26. *Кононова М.М.* Органическое вещество почвы. М., 1963.
27. *Кузнецов К.А.* К вопросу о происхождении второго гумусового горизонта в подзолистых почвах Западной Сибири // Тр. ТГУ. Томск, 1948. Т. 100.
28. *Кузьмин В.А.* Органическое вещество механических фракций дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом Охотско-Ангарского междуречья. Почвоведение. 1969. № 6.
29. *Куликов М.И.* Шелкопрядники таежной зоны Западной Сибири и особенности их лесовозобновительных процессов. Автореф. канд. дисс. Свердловск, 1966.
30. *Мишустин Е.Н., Никитин Д.М.* Атакуемость гуминовых кислот почвенной микрофлорой // Микробиология. 1961. Т. 30. Вып. 5.
31. *Наумов Е.М.* К вопросу о генезисе второго гумусового горизонта в серых лесных почвах Красноярского края // Почвоведение. 1960. № 3.
32. *Нечасова Е.Г.* Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. Иркутск: ИГ СО РАН, 1985. 210 с.
33. *Петров Б.Ф.* К вопросу о происхождении второго гумусового горизонта в подзолистых почвах Западной Сибири // Тр. ТГУ. Томск, 1937. Т. 92.
34. *Пономарева В.В.* О сущности и географических закономерностях подзолообразования // Почвоведение. 1956. № 3.
35. *Пономарева В.В., Толчельников Ю.С.* Некоторые данные о составе и свойствах гумуса и вопросы генезиса почв со вторым гумусовым горизонтом южной тайги Западной Сибири // Докл. Ин-та геогр. Сибири и Дальнего Востока, Иркутск, 1968. Вып. 20.
36. *Рожков А.С.* Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним. М., 1965.
37. *Соколов И.А., Белоусова Н.И.* Органическое вещество почв Камчатки и некоторые вопросы иллювиально-гумусового почвообразования // Почвоведение. 1964. № 10.
38. *Толчельников Ю.С.* К характеристике абсолютного возраста второго гумусового горизонта дерново-подзолистых почв Западной Сибири // ДАН, сер. геол. 1970. Т. 191. № 5.

39. Тюлин В.В., Россохина М.В. Почвы со вторым гумусовым горизонтом Чепецко-Кильмезского водораздела // Почвоведение. 1967. Т. 7.
40. Тюрин И.В. Почвы лесостепи. Вып: Почвы СССР. Европейская часть. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1939. Т. 1.
41. Уфимцева К.А. Материалы к районированию северной части дерново-подзолистой подзоны Европейской территории СССР // Тр. Почв. ин-та. М., 1955. Т. 46.
42. Уфимцева К.А. Почвы южно-таежной подзоны Западно-Сибирской низменности // Почвоведение. 1970. Т. 4.
43. Фуряев В.В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. М.: Наука, 1966.
44. Фуряев В.В. Влияние пожаров и массовых размножений сибирского шелкопряда на формирование лесов Кеть-Чулымского междуречья // Вопросы лесоведения. Красноярск, 1970. Т. 1.
45. Хантулев А.А., Гагарина Э.И., Растворова О.Г., Счастливая Л.С., Терешенкова И.А., Ципленков В.П. Особенности строения и причины формирования почв со сложным гумусовым профилем в зоне бореальных лесов Евразии // Уч. зап. ЛГУ, сер. биол. 1969. Вып. 51. С. 348.
46. Хисматулин Ш.Д. Почвенный покров и особенности почв Ангаро-Бирюсинского междуречья // Почвоведение. 1970. Т. 2.
47. Broecker W.S., Olson S.A. Radiocarbon from nuclear Fests. II Future Concentration Predicted for this Isotope in the Earths Studies // Science. 1960. № 132.
48. De-Bano L.F., Mann L.D., Hamilton D.A. Translocation of Hydrophobic Substances into Soil by Burning Organic Litter // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1970. V. 34. № 1.
49. Paul E.A., Campbell C.A., Rennie D.A., McCallum K.J. Investigation of the Dynamics of Soil Humus Utilising Carbon Dating Techniques // VIII International Congr. of Soil Science. Bucharest, 1964. V. III.
50. Simonson R.W. Outline of Generalized Theory of Soil Genesis // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1959. V. 23.