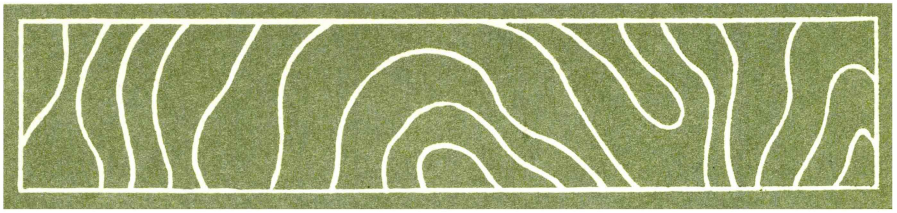
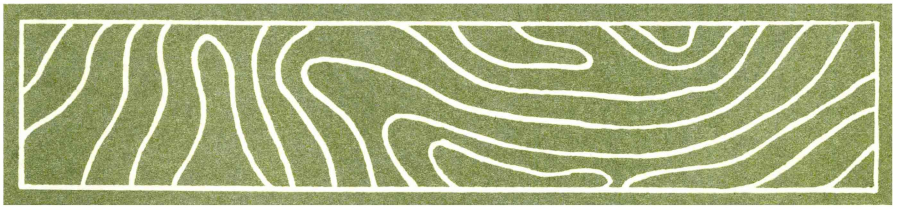
В. П. ФИРСОВА,
Т. С. ПАВЛОВА,
В. С. ДЕДКОВ

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В СОПРЯЖЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СРЕДНЕГО УРАЛА





СВЕРДЛОВСК

АКАДЕМИЯ НАУК СССР · УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

В. П. ФИРСОВА,
Т. С. ПАВЛОВА,
В. С. ДЕДКОВ

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В СОПРЯЖЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СРЕДНЕГО УРАЛА

СВЕРДЛОВСК 1990

УДК 631.42

Фирсова В. П., Павлова Т. С., Дедков В. С. **Биогеоценотические связи и почвообразование в сопряженных ландшафтах Среднего Урала.** Свердловск: УрО АН СССР, 1990.

В результате многолетних стационарных наблюдений установлены количественные параметры основных звеньев круговорота химических элементов в ельниках горных биогеоценозов Среднего Урала. Характеризуются геохимические условия почвообразования, состав и свойства почв и почвенных растворов. Определены закономерности миграции типоморфных элементов в системе древостой — почва — почвообразующая порода — гидросеть. Анализируется зависимость продуктивности древостоев от почвенно-геохимических условий ландшафтов. Рассмотрено влияние сплошных рубок и восстановления древостоев на свойства почв и геохимические процессы в ландшафтах.

Книга представляет интерес для почвоведов, лесоведов, ботаников и экологов.

Ил. 10. Табл. 50. Библиогр. 69 назв.

Ответственный редактор

доктор биологических наук **П. Л. Горчаковский**

Рецензенты

доктор биологических наук **Г. И. Таршис,**
кандидат биологических наук **М. Я. Чеботина**

Ф $\frac{21006-1572-130(87)}{055(02)7}$ 26—1990

© УрО АН СССР, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Известно, что горные леса в стране занимают около 36 % площади, покрытой лесом, а на Урале на их долю приходится почти вдвое больше. Считается [44], что жизнь большей части населения СССР в той или иной степени связана с горными лесами, поддерживающими экологический баланс природных комплексов на оптимальном уровне для всех форм жизни на Земле.

Горные леса в отличие от равнинных представляют собой сложные, динамичные и легко уязвимые экосистемы. Изучению их строения, функций, биологической продуктивности в различных высотных комплексах, круговороту веществ в системе растение — почва уделено еще недостаточно внимания.

Основной лесообразующей древесной породой в горной полосе Урала является ель, на долю которой приходится до 65 % площади лесов [23]. В связи с более чем 250-летним лесопользованием и усилением промышленных заготовок в последние десятилетия резко сократилась площадь, занятая елью (с 27 до 17 %, по данным лесоустройства 1937 и 1978 гг.) [50]. При этом площадь спелых насаждений в ельниках уменьшилась на 25 %. На большинстве вырубаемых площадей возобновление идет со сменой хвойных пород на лиственные, в основном на березу и осину. Вырубка леса в этих условиях, как показали проведенные исследования [15], сопровождается переувлажнением почв и развитием поверхностного и внутрипрофильного оглеения, усилением дернового процесса. Установлено, что восстановление нарушенных рубкой свойств почвы до исходного уровня продолжается более 40 лет. Ускорить процесс восстановления свойств почв, а следовательно, получить более продуктивные древостои, можно лишь с помощью системы агротехнических и мелиоративных приемов. Для их обоснования необходимо тщательное изучение почвообразовательных процессов на разных стадиях формирования лесной растительности на вырубках и под пологом спелых коренных древостоев. При проведении в жизнь любых лесохозяйственных мероприятий необходимо считаться с влиянием почвообразования не только на прирост древесины, но и на всю экосистему, на все компоненты леса, и в частности на почвенный потенциал.

Весь сложный комплекс свойств почвы, определяющих ее

плодородие, полнее всего диагностируется продуктивностью растений, поэтому особое значение приобретает изучение взаимосвязи лесной растительности и почв. Географические закономерности такой взаимосвязи подробно освещены на примере сосновых лесов Урала [59]. Почвы еловых лесов в этом аспекте оставались слабо изученными, а стационарные наблюдения вообще не проводились.

В настоящей работе обобщены результаты многолетних стационарных исследований, позволивших дать количественную оценку поступления, трансформации и миграции веществ, изучить сезонную и погодичную динамику многих свойств почв, выявить особенности почвообразовательных процессов в геохимически сопряженном ландшафте типичной для горной полосы Среднего Урала катены. Такие данные имеют важное значение для решения теоретических и прикладных задач многоцелевого использования лесных почв и оценки антропогенного воздействия на биогеоценозы в целом.

Глава 1

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Особая роль в биоценотических связях принадлежит лесной растительности. Ее развитием и составом определяются многие консервативные и динамичные свойства почв. Поэтому изучение многообразного и сложного взаимодействия растительности и почв представляется важной задачей экологического почвоведения.

Для такого изучения нами были выбраны почвы наиболее распространенной растительной формации — горных еловых лесов Среднего Урала на территории Билимбаевского лесхоза Свердловской области. Леса здесь не только имеют важное промышленное значение, но и играют средообразующую и почвозащитную роль. Изученная нами площадь по лесорастительному [31] и геоботаническому [14] районированию относится к южнотаежной подзоне таежно-лесной зоны. По основным физико-географическим рубежам и особенностям размещения и состава лесов, отраженным в лесорастительном районировании Б. П. Колесникова [31], рассматриваемая территория относится к горному району Среднего Урала.

Согласно лесорастительному районированию [24], непосредственно на площадях Билимбаевского лесхоза выделено четыре микрорайона. Наши исследования приурочены к западному микрорайону, для которого характерно преобладание среди коренных лесов темнохвойной формации — на ее долю приходится 62 % лесопокрытой площади. Около 35 % занято лесами еловососновой формации, что значительно ниже по сравнению с другими микрорайонами.

Среди типов леса господствует здесь ельник травяной с липой, занимающий более трети лесопокрытой площади. Древостой в этом типе леса II—III бонитета, сложный, состоящий из ели, пихты, единичной липы, сосны, березы. Подлесок неравномерный, преимущественно из липы, реже рябины, черемухи, жимолости, шиповника с запасами древесины около 300 м^3. Травяной покров состоит из вейника, крупных папоротников, чины,

Таблица 1

Запасы фитомассы, т/га

№ пр. пл.	Листья (хвоя)	Ветки	Древесина	Весь древесный полог	Кустарники	Напочвенный покров	Общие запасы
1	9,83	22,34	99,83	132,00	0,56	1,40	133,96
2	14,23	28,55	111,68	154,40	1,63	1,37	157,46
3	11,86	30,57	106,10	148,58	0,48	1,53	150,59
5	13,87	15,90	142,37	172,06	1,69	0,86	174,61

сныти и т. д., покрытие травами 0,6. Другим широко распространенным типом леса — ельником разнотравно-зеленомошным — занято около 15 % территории. Древостой II—III бонитета с запасами древесины 350 м³ характеризуется преобладанием ели и пихты с примесью сосны, березы и лиственницы. В напочвенном покрове на фоне зеленых мхов пятнами растут кисличка, копытень, линея, купальница, вейник, папоротники и т. д. с покрытием 0,6—0,7.

Широко представлен здесь ельник-сосняк ягодниковый (14 % территории лесхоза). Сосновый древостой с елью и березой имеет II—III бонитет и запасы около 350 м³. Подлесок редкий, группами из рябины, шиповника, можжевельника, малины, жимолости, калины. Травяной покров разнотравно-злаково-ягодниковый с покрытием 0,8, зеленые мхи 0,1 — 0,3.

Приблизительно такая же площадь (12 %) занята ельником-сосняком травяным. Древостой сосново-еловый с примесью березы, лиственницы, осины; I—II бонитет, запасы 300—400 м³. Покрытие травами 0,8 из вейника, земляники, горошка, чины, кислички, сныти, медуницы и лесного разнотравья; мхи 0,1—0,2.

В горах, даже в пределах одного микрорайона, лесорастительные условия очень разнообразны, поэтому соотношение площадей, занятых перечисленными типами леса, неодинаково. К примеру, на территории Кузинского лесничества, в отличие от микрорайона в целом, шире представлены ельники-сосняки травяные (24 % против 12 % в микрорайоне), несколько бóльшую площадь занимают ельники травяные и крупнопапоротниковые.

Почвы и лесная растительность всех перечисленных типов леса сравнивались в пределах одной катены в геохимически сопряженном ландшафте. Для характеристики закономерностей взаимодействия в системе растительность — почва особый интерес представляет определение объема накопления органической массы растительностью разных биоценозов. Полученные данные показывают (табл. 1), что наибольшую фитомассу образует древесина — 70—75 % от общих запасов. Наименьшие запасы древесины — в ельнике разнотравно-злаковом (аналоге ельника-

Таблица 2

Запасы древесины (в числителе) и хвои (в знаменателе), т/га

№ пр. пл.	Ель	Пихта	Сосна	Лиственница	Береза
1	24,1/6,8	2,5/0,5	10,7/0,7	2,2/0,1	51,6/1,2
2	39,6/11,1	6,9/1,7	1,6/0,1	2,5/0,2	56,9/1,4
3	40,4/9,1	3,0/0,6	5,4/0,3	6,3/0,4	37,0/0,8
5	20,3/5,9	7,0/2,2	1,6/0,1	0,0/0,0	40,0/1,0

№ пр. пл.	Осина	Липа	Рябина	Сумма
1	3,9/0,1	0,2/0,0	4,5/0,3	99,8/9,8
2	2,2/0,0	0,6/0,0	1,2/0,1	111,7/14,2
3	3,8/0,1	8,9/0,4	1,3/0,0	106,1/11,8
5	72,3/1,6	0,9/0,0	0,2/0,0	142,3/13,9

сосняка травяного, по Зубаревой) вершины увала (пр. пл. 1), а наибольшие — в ельнике мелкотравном (аналоге ельника травяно-зеленомошного) в нижней трети склона (пр. пл. 5). Таким образом, запасы древесины закономерно возрастают от верхней части катены к нижней, в соответствии с увеличением мощности, влажности и плодородия почв в этом направлении. Следующими по преобладанию в фитомассе являются ветки. Больше их в ельнике травяном с липой (пр. пл. 3), вероятно, за счет более широкого участия в составе древостоя ели (5 единиц) и в ельнике высокотравно-папоротниковом (4 единицы, против 1—2 в биоценозах других участков катены). Наименьшую фитомассу образуют ветки в биоценозах с преобладанием лиственных пород (пр. пл. 5). Листьев (хвои в том числе) меньше всего продуцируется в биоценозе на вершине увала, как и фитомассы всего древесного полога. На долю кустарников и напочвенного покрова приходится всего 2—3 % от общих запасов фитомассы. Роль кустарников значительно больше в ельниках широкотравно-папоротниковом и мелкотравном, тогда как фитомасса напочвенного покрова в них — наименьшая.

Большой интерес представляют данные (табл. 2) определения запасов древесины по основным лесообразующим породам. Отличительная особенность биоценоза вершины увала — очень высокая продуктивность сосны по сравнению с другими участками катены. Это дает основание считать, что самые благоприятные экологические условия для роста и развития сосны создаются в местоположениях с хорошо дренированными маломощными почвами. Для ели предпочтительнее склоновые местоположения, к тому же она образует здесь наибольшие запасы

Таблица 3

Содержание химических элементов в древесных породах, % на абс. сухую навеску

Древесная порода	Зольность	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S	N
Ель	4,42/0,78	1,66/0,13	0,012/0,003	1,29/0,24	0,11/0,10	0,23/0,02	0,36/0,07	0,01/0,002	1,42/0,25
Пихта	4,03/1,12	0,80/0,11	0,02/0,001	0,97/0,29	0,11/0,29	0,20/0,03	0,32/0,14	0,008/0,01	1,70/0,36
Сосна	—	0,10/0,007	0,04/0,002	0,46/0,16	0,20/0,04	0,18/0,02	0,43/0,05	Нет св./0,006	1,48/0,15
Лиственница	—	0,82/Сл.	0,03/Сл.	0,68/0,06	0,36/0,01	0,10/0,01	0,75/0,04	0,19/Сл.	2,90/0,20
Береза	5,57/0,88	0,80/0,11	0,07/0,003	0,94/0,21	0,41/0,46	0,26/0,03	0,63/0,07	0,007/0,006	3,17/0,30
Осина	9,99/2,06	0,66/0,22	0,02/0,003	1,66/0,48	0,49/0,13	0,25/0,04	0,60/0,15	0,017/0,002	2,81/0,27
Липа	8,50/1,48	0,17/0,15	0,03/0,004	1,70/0,42	0,16/0,58	0,27/0,07	0,92/0,14	0,023/0,004	3,41/0,51
Рябина	7,67/2,29	0,48/0,16	0,01/0,003	1,18/1,42	0,55/0,09	0,26/0,045	0,55/0,16	0,16/0,004	2,18/0,36

Примечание. В числителе — хвоя (листья), в знаменателе — древесина.

древесины. Этот вывод согласуется с полученными ранее данными [58] по продуктивности первобытных темнохвойных южнотаежных лесов Среднего Урала.

В нижней трети склона превалирующие запасы фитомассы дает осина. Очевидно, это ее экологическая ниша, где образуются устойчивые древостои. Преобладающая порода в производных лесах этой территории — береза. На разных участках катены она создает неодинаковые по продуктивности древостои: более высокие запасы древесины — в верхних частях катены. Ельники травяные с липой (пр. пл. 3) по сравнению с другими биоценозами отличаются большей фитомассой липы и лиственницы.

Состояние древостоев в значительной степени зависит от функционирования листового аппарата. Косвенным его показателем может служить биомасса продуцируемых листьев и хвои. Из восьми изученных лесообразующих пород на всех пробных площадях максимальную биомассу образует хвоя ели (см. табл. 2). Больше ее, однако, накапливается в ельниках верхней и средней частей склона. Следующей по преобладанию биомассы

листьев является береза в биоценозах вершины, верхней и средней частей склона. В нижней трети склона ее роль менее значительна, и в ряду накопления массы листьев береза занимает четвертое место (пр. пл. 5). Второе место после ели здесь принадлежит пихте. В целом разница между участками катены по биомассе березовых листьев сравнительно небольшая (от 0,8 до 1,4 т/га), но относительная их роль в каждом биоценозе неодинакова. Еще больше разнятся биоценозы в катене по преобладанию биомассы листьев в сравниваемых древесных породах, что может быть подтверждено рядами ее накопления: пр. пл. 1 — ель>береза>сосна>пихта; пр. пл. 2 — ель>береза>пихта>лиственница; пр. пл. 3 — ель>береза>пихта>липа; пр. пл. 5 — ель>пихта>осина>береза. Если на вершине увала третье место по относительному накоплению массы листьев принадлежит хвое сосны, то в верхней и средней частях склона — пихты, а в нижней части — листьям осины. Практически не участвуют в создании биомассы листьев в биоценозе на вершине увала липа, осина, лиственница; в верхней части склона — осина, липа, сосна, рябина; в средней части — рябина и осина; в нижней — липа, лиственница, рябина, сосна.

Для выяснения биоценотической роли древесных пород важен не только учет биомассы древесины и хвои, но и знание их химического состава. Образцы для определения содержания азота и основных зольных элементов отбирали на тех же пробных площадях, где проводили и другие наблюдения. Только для сосны и лиственницы использованы данные из литературы. Результаты исследований (табл. 3) показывают, что значительно более высокой зольностью отличаются хвоя и листья по сравнению с древесиной. Наибольшей зольностью характеризуются листья осины, липы и рябины, в этих же породах больше ее величина в древесине. Листья (хвоя) в отличие от древесины содержат значительно меньше кремния. Менее выражена разница в содержании этого элемента в сравниваемых частях деревьев у липы, осины и рябины. Отличительная особенность ели — очень высокое количество кремния в хвое, последний преобладает над кальцием. Следующими по преобладанию этого элемента являются хвоя лиственницы, листья березы и осины. Самым низким содержанием кремния характеризуются хвоя сосны и листья липы. Таким образом, сравниваемые древесные породы играют неодинаковую роль в биологическом накоплении кремния в почвах (табл. 4).

В целом в зольном составе и по запасам доминирует кальций. Как элемент, участвующий в синтезе хлорофилла, транспортировке и мобилизации углеводов и белков, кальций больше накапливается в хвое, листьях и меньше — в древесине. В сравниваемых породах содержат больше кальция листья липы и осины, довольно высокое его количество в хвое ели, а наименьшее — сосны. Очевидно, в соответствии с содержанием кальция

Таблица 4

Запасы химических элементов в листьях (хвое) древесных пород, кг/га

№ пр. пл.	Древесная порода	N	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S
1	Ель	97,37	113,95	0,82	88,37	7,45	15,46	24,83	0,96
	Пихта	9,52	4,48	0,14	5,43	0,58	1,14	1,81	0,04
	Лиственница	2,90	0,82	0,03	0,68	0,36	0,16	0,75	0,19
	Сосна	10,36	0,70	0,28	3,22	1,40	1,26	3,36	—
	Береза	38,0	9,55	0,80	11,28	1,69	3,08	7,62	0,08
	Осина	3,37	0,79	0,02	1,99	0,59	0,30	0,72	0,02
	Рябина	6,42	1,44	0,03	3,54	1,65	0,78	1,65	0,48
	Липа	10,23	3,38	0,08	5,10	0,48	0,82	2,77	0,07
2	Ель	161,02	188,26	1,36	146,20	12,32	25,54	41,02	1,58
	Пихта	10,04	8,97	0,28	10,86	1,15	2,27	3,62	0,09
	Лиственница	5,80	1,64	0,06	1,36	0,72	0,32	1,50	0,38
	Сосна	1,48	0,10	0,04	0,46	0,20	0,18	0,48	—
	Береза	43,75	10,98	0,92	12,97	1,94	3,55	8,76	0,10
	Осина	1,24	0,29	0,01	0,73	0,21	0,11	0,26	0,01
	Рябина	1,90	0,38	0,01	0,94	0,44	0,21	0,44	0,13
	Липа	1,50	0,50	0,01	0,75	0,07	0,12	0,41	0,01
3	Ель	130,00	152,27	1,10	118,09	99,60	20,65	33,18	1,28
	Пихта	10,37	4,89	0,15	5,92	0,63	1,24	1,97	0,05
	Сосна	4,48	0,30	0,12	1,38	0,60	0,54	1,44	—
	Лиственница	11,60	3,28	0,12	2,72	1,44	0,64	3,00	0,76
	Береза	26,94	6,77	0,57	8,00	1,20	2,18	5,40	0,06
	Осина	2,72	0,64	0,02	1,61	0,47	0,25	0,58	0,02
	Рябина	0,30	0,07	0,001	0,17	0,08	0,04	0,08	0,03
	Липа	13,98	1,13	1,15	2,85	3,01	3,29	4,21	4,23
5	Ель	116,13	135,77	0,98	105,30	8,88	18,42	29,58	1,14
	Пихта	50,66	23,87	0,75	28,91	3,07	6,05	9,62	0,24
	Сосна	10,36	0,70	0,28	3,22	1,40	1,26	3,36	—
	Береза	30,43	7,64	0,64	9,02	1,35	2,47	6,10	0,07
	Осина	45,52	10,71	0,31	26,89	7,94	4,10	9,72	0,27
	Рябина	0,30	0,05	0,001	0,13	0,06	0,37	0,06	0,02
	Липа	1,81	0,60	0,01	0,91	0,08	0,14	0,49	0,01

в этих породах находятся его нейтрализующее влияние в почвах и накопление в них обменных оснований.

Следующий по преобладанию в зольном составе наземных частей растений — калий. Его роль особенно велика в ростовых процессах, поэтому калия больше в хвое, чем в древесине. Повышенным содержанием калия отличаются листья липы и лиственницы, значительным — листья березы, осины и рябины.

Среди таких хвойных пород, как ель, пихта и сосна, наиболее богата калием последняя. В большинстве случаев в этих породах выше накопление фосфора по сравнению с магнием. Только в листьях рябины, осины, березы и в хвое лиственницы магний преобладает над фосфором. В названных породах и более высокое абсолютное количество этих элементов. Сера и железо содержатся в хвое и древесине в минимуме, и ощутимых различий в их содержании между породами не выявлено. Можно лишь отметить, что больше железа в листьях березы и в хвое сосны, а следовательно, под пологом этих лесов роль железа в биологическом круговороте значительнее, чем под другими сравниваемыми породами.

Азот, как и зольные элементы, преимущественно накапливается в хвое. По убыванию содержания азота в хвое и листьях рассматриваемые древесные породы можно расположить в следующий ряд: липа > береза > лиственница > осина > рябина > пихта > сосна > ель.

Одной из наиболее активных частей круговорота веществ является фитомасса напочвенного покрова в связи с тем, что ее основная часть ежегодно поступает на поверхность почвы. Накопление ее очень динамично во времени и пространстве, что подтверждается данными учета фитомассы напочвенного покрова по четырем годам наблюдения на разных участках катены (табл. 5). Как и следовало ожидать, наименьшую фитомассу имеет напочвенный покров в начале лета. Ее количество резко возрастает в июле — августе, что совпадает с наибольшим содержанием водно-растворимых питательных веществ (ВРВ) в почвах. Во все годы и сроки наблюдения максимальная фитомасса напочвенного покрова накапливается в ельнике травяном с липой в средней части катены (пр. пл. 3), минимальная — в ельнике мелкотравном нижней части катены (пр. пл. 5). В этих типах леса наблюдаются и наименьшие сезонные и погодичные колебания запаса фитомассы, между тем как в верхних частях катены ее количество изменяется по сезонам в 2—3 раза, что подтверждает более высокую динамичность этих биоценозов, обусловленную большей контрастностью экологических условий. Из полученных данных следует также, что по количеству напочвенного покрова верхние части катены чрезвычайно близки.

Не только запасы фитомассы напочвенного покрова, но и содержание химических элементов в нем подвержено значитель-

Таблица 5

Запасы фитомассы напочвенного покрова, г/м²

№ пр. пл.	1981 г.					1982 г.				
	VI	VII	VIII	IX	Средн.	VI	VII	VIII	IX	Средн.
1	31	106	110	98	86	88	81	122	102	98
2	50	92	104	104	87	87	104	104	84	94
3	63	162	163	101	122	83	117	136	96	108
5	72	101	85	85	85	64	50	76	62	63

№ пр. пл.	1983 г.					1984 г.				
	V	VI	VII	VIII	Средн.	VI	VII	VIII	IX	Средн.
1	17	87	115	126	96	61	148	106	109	106
2	50	93	150	101	98	72	156	105	102	108
3	51	98	166	138	113	130	160	153	130	143
5	14	90	99	88	72	45	82	55	50	58

Таблица 6

Содержание химических элементов в напочвенном покрове, по данным 1982 г., % на абс. сухую навеску

№ пр. пл.	Месяц	Зольность	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S	N
1	VI	7,28	0,82	0,06	0,22	0,02	0,32	2,80	0,48	2,30
	VII	5,27	0,43	0,07	0,27	0,08	0,26	2,23	0,38	1,58
	VIII	7,72	1,37	0,65	1,10	0,37	0,18	0,61	0,17	2,03
	IX	8,11	1,45	0,04	0,58	0,32	0,27	0,24	0,18	2,39
2	VI	5,40	0,39	0,15	0,25	0,13	0,33	1,79	0,29	2,40
	VII	8,70	0,48	0,10	0,78	0,08	0,27	1,70	0,19	2,18
	VIII	8,72	0,50	0,14	0,03	0,14	0,24	2,00	0,41	2,23
	IX	7,59	1,09	0,04	0,87	0,32	0,24	0,25	0,15	2,23
3	VI	7,50	0,70	0,16	0,15	0,07	0,40	0,60	0,50	3,00
	VII	9,51	0,76	0,40	0,24	0,11	0,26	2,00	0,20	1,87
	VIII	16,17	0,97	0,44	1,05	0,45	0,29	1,64	0,27	2,43
	IX	8,04	0,70	0,08	1,03	0,20	0,23	0,27	0,18	2,31
5	VI	5,50	0,42	0,13	0,26	0,02	0,30	3,20	0,12	2,70
	VII	6,96	0,16	0,14	0,26	0,12	0,23	1,84	0,28	2,05
	VIII	8,49	2,43	0,21	0,34	0,14	0,30	1,30	0,37	1,88
	IX	8,91	1,36	0,13	0,96	0,48	0,19	0,23	0,15	1,68

Таблица 7

Запасы химических элементов в фитомассе напочвенного покрова, по данным 1982 г., г/м²

№ пр. пл.	Месяц	Сумма	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S	N
1	VI	6,16	0,72	0,05	0,19	0,02	0,28	2,46	0,42	2,02
	VII	4,30	0,35	0,06	0,22	0,06	0,21	1,81	0,31	1,28
	VIII	7,91	1,67	0,79	1,34	0,45	0,22	0,74	0,21	2,48
	IX	5,57	1,43	0,04	0,59	0,33	0,27	0,24	0,18	2,44
	Средн.	6,00	1,05	0,23	0,58	0,22	0,25	1,31	0,29	2,06
2	VI	5,00	0,34	0,13	0,23	0,11	0,29	1,56	0,25	2,09
	VII	6,00	0,50	0,10	0,81	0,08	0,28	1,76	0,20	2,27
	VIII	6,86	0,52	0,14	0,97	0,15	0,25	2,08	0,43	2,32
	IX	4,27	0,91	0,04	0,73	0,27	0,20	0,21	0,04	1,87
	Средн.	5,53	0,57	0,10	0,68	0,15	0,26	1,40	0,23	2,14
3	VI	4,62	0,58	0,13	0,12	0,00	0,33	0,50	0,41	2,49
	VII	6,83	0,89	0,47	0,28	0,13	0,30	2,34	0,23	2,19
	VIII	10,24	1,31	0,60	1,43	0,61	0,39	2,23	0,37	3,30
	IX	4,80	0,67	0,08	0,99	0,19	0,22	0,26	0,17	2,22
	Средн.	6,62	0,86	0,32	0,71	0,25	0,31	1,36	0,29	2,55
5	VI	4,57	0,27	0,08	0,17	0,01	0,19	2,04	0,08	1,73
	VII	2,53	0,08	0,07	0,13	0,06	0,11	0,92	0,14	1,02
	VIII	5,31	1,85	0,16	0,26	0,11	0,23	0,99	0,28	1,43
	IX	3,19	0,84	0,08	0,59	0,30	0,12	0,14	0,09	1,03
	Средн.	3,90	0,76	0,39	0,29	0,12	0,16	1,00	0,15	1,30

ным сезонным изменениям. Полученные данные показывают (табл. 6), что от ранних стадий вегетации к поздним заметно возрастает в химическом составе напочвенного покрова содержание кремния, кальция, магния и уменьшается количество калия и серы; содержание фосфора и азота изменяется незначительно. Более высокая доля кремния в конце вегетации обнаружена в напочвенном покрове вершины увала (пр. пл. 1) и нижней трети склона (пр. пл. 5), очевидно, в связи с широким участием здесь злаков. В плане влияния на почвообразовательные процессы наибольший интерес представляет сравнительное изучение зольного состава растительности в конце ее вегетации. Повышенное содержание кремния определено в травяно-злаковом напочвенном покрове биоценоза на вершине увала, а наименьшее — в разнотравном с участием широкотравья (аконит) и папоротника (пр. пл. 3). В последнем случае выше содержание кальция. Железо больше всего накапливается в напочвен-

ном покрове, где широко (около 15 %) представлены зеленые мхи, отличающиеся повышенным его содержанием [59]. В них меньше азота. По содержанию фосфора, калия и серы напочвенный покров разных частей катены практически не различается. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что большую возможность биологического накопления кремния создает разнотравно-злаковый напочвенный покров на вершине увала.

Ряды биологического накопления основных микроэлементов в напочвенном покрове по пробным площадям имеют вид:

1 — Si > Ca > Mg > P > K > S > Fe,
2 — Si > Ca > Mg > P > K > S > Fe,
3 — Ca > Si > K > P > Mg > S > Fe,
5 — Si > Ca > Mg > K > P > S > Fe,

т. е. в напочвенном покрове изученных еловых биоценозов основная роль в круговороте веществ принадлежит кремнию и кальцию. Кальций превалирует над кремнием только на пр. пл. 3. Здесь большую роль играет калий, тогда как в остальных биоценозах третье место в ряду биологического накопления принадлежит магнию.

В целом описанные закономерности изменения зольного состава напочвенного покрова подтверждают и расчетные средние данные запасов элементов (табл. 7), а именно: наибольшие запасы кремния создаются на вершине увала, железа — в нижней части склона, кальция, магния и фосфора — в его средней части, а для нижней части характерен минимум запасов калия, серы и азота.

Итак, проведенные впервые на Урале стационарные наблюдения в горных еловых лесах позволили установить качественные и количественные критерии оценки их роли в разных биогеоценозах.

2. АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

а) Экологическая роль климата в почвообразовании

По мнению В. Р. Волобуева [7], в развитии процесса почвообразования наиболее явную роль обнаруживают такие климатические агенты, как температурный режим, режим увлажнения атмосферными осадками и водный. С температурным режимом связана прежде всего энергия многих химических и биологических процессов. Увлажнительная роль атмосферных осадков и их влияние на почвообразование определяются особенностями сезонного выпадения и формами осадков. Кроме того, атмосферные осадки — непосредственный источник определенного количества веществ (мелкозема и солей), постоянно возрастающего в эпоху технического прогресса и усиливающегося антропогенного воздействия на почвенный покров.

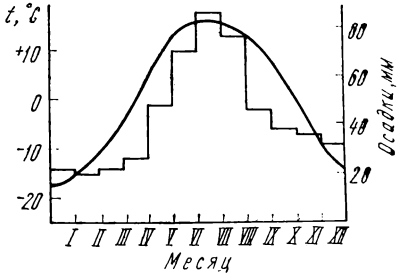


Рис. 1. Климатические показатели метеостанции Кузино.

Таким образом, экологическая роль климата в почвообразовании очень многообразна и в значительной степени зависит от пространственного распространения и особенностей биоценозов. С учетом этого нами сделана попытка не только обобщить имеющиеся климатические данные по изученной территории, но и провести ряд наблюдений, позволяющих получить некоторые количественные параметры и расширяющих представление о взаимодействии климатических агентов с биоценозом.

Рассматриваемая территория характеризуется умеренно-теплым климатом [1]. По данным метеостанции Кузино Свердловской области (173 м над ур. моря), сумма температур более 10 °С составляет здесь 1574 °С. Самый теплый месяц года — июль — имеет среднюю температуру воздуха 16,2 °С (рис. 1), максимальная температура в этот месяц может достигать 37 °С. Среднемноголетняя температура воздуха самого холодного месяца — января —16,2 °С. Абсолютный минимум в декабре — январе —46 °С. Продолжительность периода с температурами выше 5 °С равна 156 дням (в среднем с 26 апреля по 29 сентября), а с температурами выше 10 °С — 109 дням (с 21 мая по 7 сентября). Таким образом, характерные черты климата рассматриваемой территории — холодная и продолжительная зима и теплое, но короткое (с продолжительностью безморозного периода 96 дней) лето.

Среднемноголетняя годовая сумма осадков 513 мм. Осадки преобладают над испарением — гидротермический коэффициент 1,6. Бóльшая их часть (около 70 %) приходится на теплый (с апреля по октябрь) период года. Максимум осадков выпадает в июле — августе. Устойчивый снеговой покров устанавливается с начала ноября. Число дней со снеговым покровом 173. Интенсивное снегонакопление идет в течение ноября — декабря, в январе — феврале рост снегового покрова замедляется, и максимальной мощности (около 42 см) он достигает в марте.

В лесу, судя по данным четырехлетних наблюдений (1983—1986 гг.), проведенных в этот же срок (в марте), мощность снегового покрова значительно выше, чем на безлесных площадях, она составила, например в 1983 г., на разных участках катены 79—98 см. Она подвержена значительным колебаниям по годам. Наименьший снеговой покров (53—67 см) был в 1984 и 1985 гг., а наибольший (100—109 см) — в 1986 г. Математическая обработка данных (полученных по 25 замерам на каждом участке

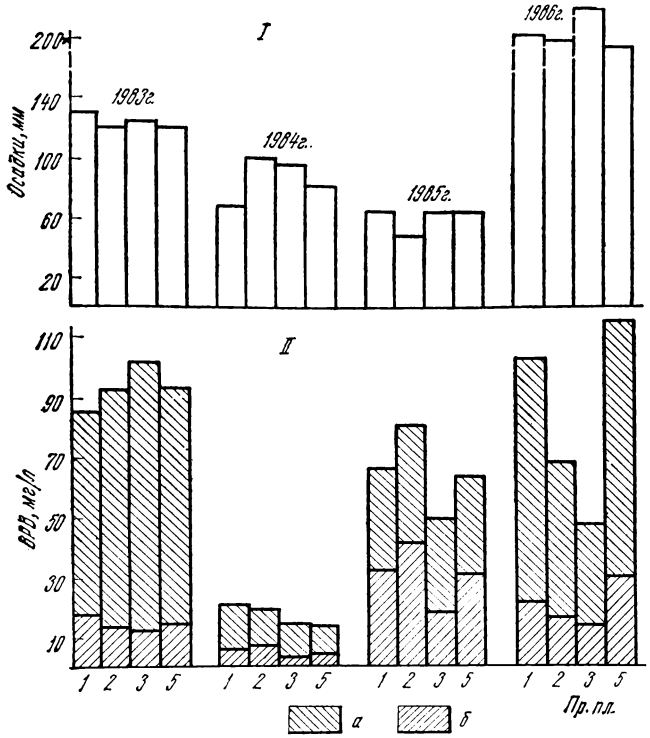


Рис. 2. Количество твердых осадков (*I*) и содержание в них водно-растворимых веществ (*II*).
а — сухой, *б* — прокаленный остаток.

катены) показала, что достоверно отличается меньшей мощностью снегового покрова участок подножия склона в связи с тем, что он граничит с безлесной территорией, а следовательно, имеет бóльшую возможность для протаивания и оседания.

Несмотря на различную мощность снегового покрова, запасы влаги в снеге различных частей катены различаются незначительно. Между тем по годам, судя по четырехлетнему циклу наблюдений, количество твердых осадков подвержено значительным колебаниям. Например, в 1986 г. их выпало в 3 раза больше, чем в 1984 или 1985 гг. При этом меняется и химический состав осадков. В малоснежные зимы суммарное количество водно-растворимых веществ (сухой и прокаленный остаток) ниже, чем в годы обильных снегопадов (рис. 2). Химический состав твердых осадков претерпевает некоторые изменения в зависимости от положения биоценоза в катене. На вершине увала в связи с «барьерной» ролью лесов наблюдается более высокое

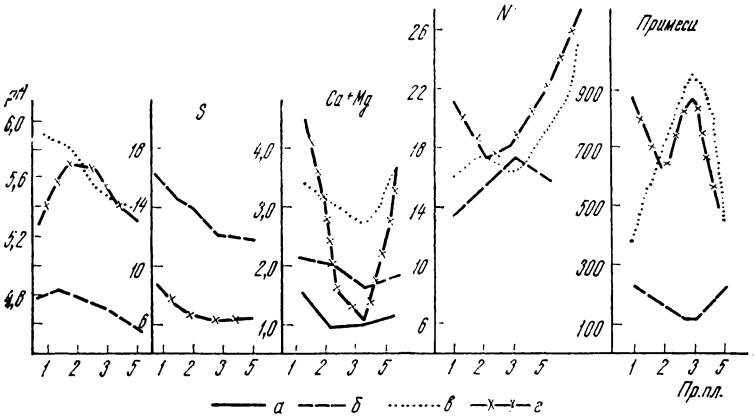


Рис. 3. Химический состав твердых осадков по годам:
а — 1983; *б* — 1984; *в* — 1985; *г* — 1986. Содержание осадков в мг/л.

содержание ВРВ, кальция и серы (рис. 3). Напротив, азотом и углеродом (данные одного года здесь не приведены) интенсивнее насыщаются твердые осадки в более низких местоположениях, где выше их содержание в почвах, а следовательно, и в приземном слое атмосферы — здесь увеличивается кислотность (см. рис. 3). С состоянием биоценоза и атмосферы связано наличие примесей (пыли и растительных остатков). В годы с сильными буреломами (1985, 1986) резко возросло количество примесей, оно контрастно различалось на разных участках катены, особенно в нижней части склона. В «оптимальные» годы (1984) различия в содержании примесей в снеговой воде между пробными площадями были незначительны.

Особенно велика непосредственная роль в почвообразовании жидких осадков, на долю которых приходится около 60—70 % от общей суммы выпадающих на рассматриваемой территории. Они прежде всего поставляют химические элементы в биологический круговорот. Судя по полученным нами данным, количество поступающих с осадками элементов (11,6 г/м^2) на объектах нашего исследования соизмеримо с поступлением их с растительным опадом (13,9 г/м^2). При прохождении осадков через биоценоз происходит как их количественное перераспределение, так и качественное изменение состава. Причиной изменения химического состава дождевых вод, по мнению Л. О. Карпачевского [26], являются выщелачивание водно-растворимых веществ из живых растений, внекорневое поглощение ими наиболее «биофильных» элементов и смыв пыли, осевшей на растениях. Влияние последней причины снижается при частых обильных дождях.

Распределение осадков в биогеоценозе и их химический состав зависят от структуры биогеоценоза, породного состава древесных растений и строения крон, парцеллярного строения биогеоценозов, интенсивности и направления дождя. Дождевые осадки, соприкасаясь с древесным пологом, значительно изменяют свой химический состав. Проведенные исследования [6, 26, 32, 51] показывают, что со стволов стекают более кислые и концентрированные воды, чем с крон. По данным Э. Ф. Ведровой [6], в сосновых лесах на открытых пространствах на поверхность почвы поступает водно-растворимых веществ в 2,7—4,7 раза меньше, чем под кронами, и в 11—15 раз меньше, чем в непосредственной близости от ствола. Таким образом, изменение химического состава атмосферных осадков, омывающих ветви, листву и стволы, является одним из факторов, влияющих на формирование пестроты почвенного покрова в пределах биогеоценозов.

Нами изучалось распределение и изменение химического состава дождевых вод в ельнике липняковом. Собирали дождевые воды под кронами отдельных деревьев разных пород (ели, осины, липы, пихты) и отдельных растительных микроассоциаций, включающих подлесок и травянистые растения, вне крон деревьев. Для этой цели в проекции кроны устанавливали приемники по семь-восемь под каждым деревом и столько же на открытой поляне. Наблюдения проводили дважды в сезон — 16 и 30 августа 1984 г. при силе дождя 22,5 и 43,0 мм (в течение суток).

Определение химического состава дождевых вод (на поляне) показывает, что они имеют в указанные сроки разный состав (табл. 8): величина pH колеблется, например, от 5,1 до 6,1; сухой остаток — 50—70 мг/л, он представлен на 65—80 % органическими веществами. В дождевых водах много углерода (20 мг/л), азота (14,6 мг/л) и серы (9,6—11,5 мг/л), значительно меньше калия (1,0—2,5 мг/л); магний, кальций и фосфор не обнаружены.

Изучение химического состава дождевых вод, прошедших через кроны деревьев (сравнивали их с дождевыми водами, собранными на открытом пространстве — поляне), показало, что воды, проникшие через еловую и пихтовую кроны, подкисляются (pH уменьшается на 1 под елью, на 0,6—0,9 под пихтой по сравнению с контролем). Береза, липа, осина меняют pH в водах в сторону подщелачивания (береза, липа — на 0,3—0,5 единицы, осина — на 0,7).

От соприкосновения вод с кронами деревьев в них возрастает величина сухого остатка в 1,5—2 раза, в основном за счет вымывания из кроны органических веществ. Из хвойных деревьев вымываются растворимые органические продукты кислой природы, и, судя, по наблюдениям [6], это низкомолекулярные кислоты и соединения типа таннидов.

Таблица 8

Химический состав дождевых осадков, прошедших через крону деревьев, мг/л

Место наблюдений	pH	Сухой остаток	Минеральные вещества	Органические вещества	C	Ca	Mg	K	S	N
Поляна	6,1/5,1	70/50	16/18	54/32	20/18	0	0	1,0/2,5	9,6/11,5	14,6/14,6
Под кроной										
ели	5,1/4,2	100/130	36/46	64/84	60/24	4/4	1,2/1,2	15,9/6,5	10,2/7,0	21,3/15,2
пихты	5,5/4,2	160/122	34/36	126/86	110/12	4/4	2,4/1,2	4,5/6,0	9,6/9,0	15,4/13,4
березы	6,4/5,6	140/200	26/54	114/146	90/36	2/4	1,2/0	3,9/3,5	8,3/7,7	21,2/14,6
липы	6,6/5,4	150/140	28/24	122/116	60/66	4/2	0/1,2	7,6/3,5	14,1/14,7	13,4/12,4
осины	6,8/5,8	150/100	18/22	132/78	60/24	4/4	2,4/0	3,5/4,5	5,1/9,0	13,2/13,2

Примечание. В числителе — 16 августа, в знаменателе — 30 августа.

Таблица 9

Химический состав дождевых осадков, прошедших через растительные ассоциации, мг/л

Растительная ассоциация	pH	Сухой остаток	Минеральные вещества	Органические вещества	Ca	Mg	K	P	N	S
Мелкотравная	6,2/5,8	160/94	24/26	136/68	7,2/6,0	1,0/2,4	4,1/7,9	0,13/0,04	12,4/12,0	3,8/5,8
Злаково-рябиновая . .	6,4/6,0	114/104	22/44	92/60	4,0/4,0	1,9/3,6	3,4/6,8	0,10/0,02	16,8/12,0	4,0/6,0
Высокотравно-рябиновая	6,2/6,0	106/82	20/18	86/64	4,8/2,0	1,4/3,6	2,6/11,4	0,13/0,05	20,1/2,0	2,0/5,6
Злаково-липовая . . .	6,2/5,5	58/54	18/24	40/30	3,2/4,0	1,0/1,2	1,1/10,2	0,11/0,03	19,0/12,0	4,6/6,2
Высокотравно-липовая .	6,4/5,8	124/90	44/23	80/68	6,4/6,0	3,4/2,4	3,7/6,8	0,16/0,03	11,2/1,0	14,1/5,2
Липовая	6,3/5,9	86/82	26/30	60/52	7,2/4,0	5,5/3,6	2,2/15,8	0,10/0,05	0/15,0	10,0/1,4
Открытая (поляна) . .	6,1/5,5	60/58	12/12	48/46	4,0/2,0	1,4/3,6	0,75/3,4	0,07/0,02	3,6/10,0	5,0/6,2

Примечание. В числителе — 15 июля, в знаменателе — 21 августа.

В водах, прошедших через крону лиственных пород (осины, березы, липы), кислотность значительно меньше, чем под хвойными.

В водах также доминируют органические вещества, а на долю минеральных приходится всего 12—36 %. По количеству вымываемых минеральных веществ (по двум наблюдениям) первое место занимает ель, последнее — осина. Из крон всех исследуемых деревьев вымывается калий, кальций, магний. Изменений в содержании фосфора установить не удалось, так как в водах обнаружены только его следы. Сера в большинстве случаев поглощается растениями, и только из кроны липы и иногда ели она вымывается. Водно-растворимые соединения азота выносятся с крон ели и березы и поглощаются пихтой, осиной, липой. Необходимо отметить, что интенсивность поглощения или вымывания химических элементов (сравнивается содержание их непосредственно в атмосферных осадках и в водах, прошедших через крону) неодинакова для одних и тех же деревьев в разные сроки наблюдения. Вероятно, это зависит от частоты и обилия дождей.

Отмеченные изменения концентрации химических элементов в водах, прошедших через крону различных пород деревьев, аналогичны данным, полученным в [26], они также свидетельствуют о наиболее интенсивном выщелачивании химических элементов при прохождении дождевых вод через крону ели.

Наблюдения за химическим составом дождевых вод, прошедших через подлесок и травяной ярус, показывают также почти повсеместное вымывание водно-растворимых веществ. Количество минеральных водно-растворимых веществ увеличивается в 1,5—3,6 раза, органических водно-растворимых веществ — в 1,1—2,8 раза (табл. 9). Бóльшая часть водно-растворимых веществ представлена органическими — от 58 до 85 %. Реакция среды сдвигается в основном в сторону подщелачивания (0,1—0,5 единицы pH), т. е. при прохождении дождевых вод через крону деревьев наблюдается качественно иное (подкисление) и более ощутимое изменение реакции среды.

Из минеральных элементов наиболее интенсивно вымываются калий, кальций и фосфор; азот, магний и сера преимущественно поглощаются растениями.

Таким образом, на рассматриваемой территории складываются благоприятные условия для роста и развития лесной растительности, что определяет довольно высокую ее продуктивность. Полученные данные в целом согласуются с имеющимся по Уралу литературным материалом [63] и позволяют не только отметить большую динамичность химического состава атмосферных осдаков, но и выявить его зависимость от особенностей биоценоза. Это в конечном итоге обусловливает динамику поступления, разложения и миграции веществ в почвах, а следовательно, и направление почвообразования.

б) Почвообразующие породы

В связи с тем, что в геологическом строении рассматриваемой территории широко представлены кислые породы — гранито-гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты и др., их элювий и элюво-делювий служат здесь почвообразующими породами. Рассмотрим их особенности на примере кварцитов, слагающих увал в пределах изученной катены.

Характерное качество этой горной породы — очень высокое содержание SiO_2, среди полуторных оксидов резко преобладает алюминий над железом, а оксиды натрия и калия представлены шире, чем кальция и магния. Последний в свежих и слабовыветрившихся образцах кварцита не обнаружен. В процессе выветривания и почвообразования кварциты претерпевают значительные изменения. Проведенное нами сравнительное изучение валового химического состава (табл. 10) свежего (невыветрившегося) кварцита, побуревшей снятой с его поверхности корочки и элювия в целом (в обломочном материале без снятия пленок) позволило выявить направление процессов выветривания в этих условиях. При выветривании кварцитов происходит уменьшение содержания SiO_2 и накопление полуторных оксидов, особенно железа. О более значительном накоплении железа по сравнению с алюминием свидетельствует и величина их молекулярных отношений, а именно: в выветрившемся кварците по сравнению со свежим величина $SiO_2 : Fe_2O_3$ уменьшается вдвое, а $SiO_2 : Al_2O_3$ — незначительно. Среди оксидов щелочных металлов в процессе выветривания сильнее накапливается калий, возрастает содержание оксида кальция. В мелкоземе, взятом из горизонта СД, по сравнению с горной породой наблюдаются уменьшение содержания SiO_2 и увеличение количества алюминия, железа, кальция и магния. Этот процесс получает дальнейшее развитие по мере усиления интенсивности почвообразования, о чем можно судить по содержанию оксидов в мелкоземе из делювия средней и нижней частей склона. Обращает внимание отсутствие магния в незатронутых выветриванием кварцитах и резкое увеличение его содержания в выветренных образцах, и особенно в мелкоземе почв (в верхних позициях катены до 1,05, а в нижних — до 2,00 %), где магний преобладает над кальцием. Возрастает при выветривании кварцитов и содержание калия. Итак, новообразование глинистых минералов сопровождается накоплением магния, что свойственно триоктаэдрическим гидрослюдам, монтмориллониту и особенно вермикулиту. Повышенное содержание гидрослюд и монтмориллонита в илистой фракции бурых лесных почв на кислых породах (гранитах) отмечено в [13].

Существенной особенностью выветривания и почвообразования на кварцитах является также резкое увеличение железа: в мелкоземе из горизонта СД, например, его в 10 раз больше,

Таблица 10

Валовой химический состав горных почвообразующих пород, % на прокаленную навеску

Порода (кварцит)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Молекулярные отношения		
									$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{CaO}{MgO}$
Свежий	94,66	3,55	0,29	0,04	0,14	0	0,23	0,31	45,3	875,6	—
Выветрившийся (корочки на поверхности)	93,48	4,53	0,59	0,06	0,23	0	0,21	0,43	35,1	432,7	—
Элювий	94,70	3,21	0,37	0,06	0,23	0,33	Нет свед.		50,8	680,6	0,49
Мелкозем в горизонте СД	85,72	9,02	2,90	0,18	0,72	0,69	»		16,2	78,4	0,75
Делювий средн. части склона (гл. 120—130 см)	72,62	16,43	4,74	0,07	0,63	1,05	»		7,5	40,7	0,43
Делювий нижней трети склона (гл 105—115 см)	62,82	20,55	5,64	0,06	0,85	2,0	»		5,2	29,6	0,30

Таблица 11

Гранулометрический состав и химические свойства почвообразующих пород

Почвообразующая порода	Каменистость, %	Содержание фракций, %							pH водн.	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	H^+ по Гедройцу	Подвижные формы, мг/100 г почвы		
		1—0,25*	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01		мг·экв/100 г почвы		P_2O_5	K_2O	Fe_2O_3
Элювий кварцитов	85,7	35,8	19,5	9,1	4,5	10,8	21,8	36,1	4,4	3,3	9,7	9,4	7,1	570
Элюво-делювий	35,2	5,5	9,8	23,8	6,2	11,1	44,8	61,6	4,6	11,8	5,9	0,1	13,3	699
Делювий	16,7	0,6	6,8	20,7	10,7	16,4	44,0	71,1	4,7	22,4	2,2	0,4	13,2	431

* Размер фракций, мм.

чем в образце горной породы, взятой непосредственно из этого горизонта. Эта особенность выветривания кварцитов была отмечена в [13]. Проведенные нами экспериментальные работы по выяснению характера вытеснения железа из разных горных пород [56] показали, что кварцит резко отличается, например, от змеевика (богатой железом горной породы) большей энергией высвобождения железа. Если в первом случае в сумму пятикратных 1N H_2SO_4 вытяжек экстрагируется 17 % железа от валового его количества, то в змеевике лишь 9 %, в первую вытяжку соответственно переходит 4,7 и 1,5 %.

С учетом того, что роль агента, затормаживающего оподзоливание, принадлежит полуторным оксидам, и в частности железу [41], становится понятным доминирование в изученных почвах процесса буроземообразования. Большое влияние на почвообразование оказывает и гранулометрический состав горных почвообразующих пород, значительно изменяющийся на разных участках катены. В этом плане интересно рассмотреть гранулометрический состав в зависимости от положения почв в катене. От верхних ее частей к нижним резко уменьшается каменистость (от 85,7 до 16,7 %). Присутствие большого количества крупноразмерных обломков горных пород обеспечивает повышенную интенсивность гравитационного передвижения влаги. Особенности строения почвообразующих пород горных сооружений и большие уклоны местности создают также благоприятные условия для развития бокового внутрипочвенного стока. Почвообразующий материал испытывает преобразование, обусловленное постоянно текущим перемещением рыхлого минерального вещества поверхностного слоя коры выветривания. Анализ гранулометрического состава мелкозема изученных горных пород (табл. 11) показывает, что в них вниз по уклону местности уменьшается количество крупных фракций и возрастает содержание пылеватых и илистых частиц. На рассматриваемом топографическом профиле содержание ила и физической глины в мелкоземе породы возрастает от вершины увала к подножию склона в 2 раза. Химические показатели тоже претерпевают изменения в соответствии с пространственной гранулометрической дифференциацией, а именно: вниз по уклону местности уменьшаются кислотность (pH) и содержание обменного водорода, резко возрастает количество поглощенных оснований, содержание подвижного калия. Фосфора содержится значительно больше в элювии кварцитов, чем в делювии, очевидно, за счет первичных минералов, более обогащенных фосфором. По той же причине, очевидно, подвижного железа накапливается больше в элювии и элюво-делювии, чем в делювии у подножия склона.

Таким образом, различия свойств почвообразующих пород создают неодинаковые предпосылки для внутрипрофильной дифференциации формирующихся на них почв.

Горный рельеф местности — большой переход высот (до 250 м) и большие уклоны (до 20°) — обусловливает перераспределение продуктов почвообразования. Почва — зеркало ландшафта, она отражает в своем морфологическом облике и вещественном составе совокупность природных условий, определивших ее образование и эволюцию.

Глава 2

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наблюдения проводили в течение четырех лет (1981—1985) на четырех постоянных пробных площадях в разных типах еловых лесов. Пробные площади и соответствующие им почвенные разрезы располагались вдоль пологого длинного склона восточной экспозиции (рис. 4). Протяженность катены 920 м, перепад высот 40 м (от 507 до 467 м над уровнем моря). Выбору катены предшествовали крупномасштабное почвенное картирование и подробное изучение свойств почв на территории Билимбаевского лесхоза Свердловской области, что давало основание считать катену типичной для еловых биоценозов и почв южной тайги Среднего Урала.

Пробная площадь 1 заложена на вершине увала (высота 507 м над уровнем моря, см. рис. 1) в ельнике разнотравно-злаковом с составом древостоя в I ярусе: 5Б3Е1С1Ос + Пх, ед. Лп, во II ярусе произрастают рябина, подрост пихты и ели, липа. Напочвенный покров составляют злаки (57,9 % от общей биомассы напочвенного покрова) и мелкотравье (42,1 %). Горно-лесная бурая маломощная почва вершины увала имеет следующее морфологическое строение.

АО 0—5 см.	Слаборазложившаяся подстилка густо переплетена корнями растений, большое количество остроугольных мелких камней.
АОА1 5—10 см.	Серая глина переплетена корнями, рассыпчатая, большое количество мелкого камня.
В1 10—21 см.	Светло-бурый слабо прокрашенный гумусом тяжелый суглинок, рассыпчато-комковатый с большим количеством мелкой дресвы, много корней. Переход неясный.
ВС 21—40 см.	Бурый тяжелый суглинок, встречаются крупные остроугольные камни, дресва, рыхлый, комковатый.
СД 40—30 см.	Бурый рассыпчатый тяжелый суглинок, большое количество очень мелких, мелких и крупных камней.

Пробная площадь 2 расположена ниже по склону (уклон 7,4 %, абс. отметка 495 м) в ельнике высокотравно-папоротни-

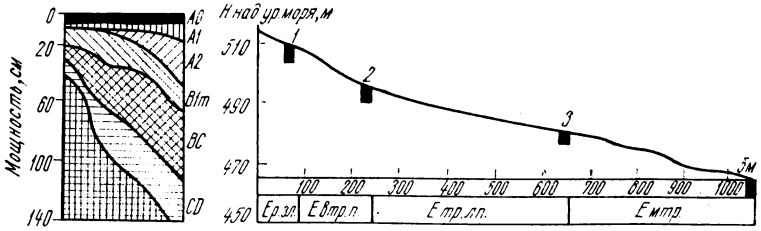


Рис. 4. Схема почвенной катены и строения почвенных профилей.

Ельники: Е р. зл.— разнотравно-злаковый, Е втр. п.— высокотравно-папоротниковый, Е тр. лп.— травно-липняковый, Е мтр.— мелкотравный.

ковом. Состав древостоя в I ярусе: 4Е4Б1Пх1Лц+Ос, ед. С, II ярус представлен подростом ели и пихты, рябиной, липой, в подлеске — бузина, рябина, черемуха. В напочвенном покрове преобладают папоротники — австрийский, буковый, щитовник майский (55,4 % от общей биомассы напочвенного покрова), велика доля разнотравья (32,8 %) — аконит, сныть, герань лесная, звездчатка, грушанка, валериана, злаки составляют 12,3 %, встречаются мхи, в основном мниевые. Горно-лесная бурая лессивированная почва покатого, прилегающего к вершине склона отличается более мощным (до 100—110 см) полноразвитым менее каменистым профилем.

АО 0—4 см.	Среднеразложившаяся подстилка, пронизана корнями растений.
А1 4—10 см.	Серая с буроватым оттенком рассыпчато-комковатой структуры легкая глина, свежая, много мелких остроугольных камней, переход неясный.
В1*l* 10—33 см.	Светло-бурая мелкоореховая с белесой присыпкой по граням отдельностей легкая глина, много камней, переход постепенный.
В1 33—55 см.	Бурая средняя глина мелкоореховой структуры, влажная, много очень мелких камней, переход постепенный.
В2 55—87 см.	Бурая крупнооореховатая средняя глина, очень плотная, переход постепенный, камней мало.
С 87—110 см.	Смесь дресвы с мелкоземом (около 10 %) бурого цвета, мелкозем глинистый, очень влажный, плотный.

Пробная площадь 3 характеризует лесную растительность и почвы выположенной середины того же склона. Расположена на 300 м ниже по уклону местности пр. пл. 2 (абс. высота 482 м, уклон 4,4 %). В составе древостоя ельника липнякового в I ярусе: 5Е3Б1Лп1СЛц + Пх, ед. Ос, во II ярусе липа, рябина,

подрост ели и пихты. Напочвенный покров обильный. Крупнотравье (аконит, копытень, герань, валериана, сныть) и мелкотравье (майник, фиалка, кислица) составляют 52,5 % от общей биомассы напочвенного покрова, папоротники — 31,3, злаки — 13,4, мхи — 2,6 %. Бурая горно-лесная сильно лессивированная (буроподзолистая) почва характеризуется следующим морфологическим строением.

АО 0—5 см.	Среднеразложившаяся подстилка, переплетена корнями растений.
А1 5—11 см.	Неоднородно-окрашенная буровато-серая легкая глина зернисто-мелкокомковатой структуры. Переход неясный.
А1А2 11—21 см.	Серовато-бурая прокрашенная гумусом легкая глина зернисто-мелкокомковатой структуры, мелкая дресва. Переход постепенный.
А2В*l* 21—35 см.	Светло-бурая с белесой присыпкой средняя глина непрочно-мелкоореховатой структуры, свежая, дресвы мало. Переход постепенный.
В2 35—65 см.	Бурая непрочно-ореховатой структуры средняя глина, свежая, плотная. Переход постепенный.
ВС 65—115 см.	Дресва с мелкоземом, неоднородно-окрашенный, общий фон буро-оранжевый; с глубиной количество дресвы увеличивается, встречаются большие (до 10—15 см в диаметре) остроугольные обломки горной породы.

Пробная площадь 5 заложена у подножия склона (уклон 5,4 %, абс. высота 467 м) в ельнике мелкотравном. Состав I яруса: 6Ос2Е2Б+Пх, ед.С, во II ярусе — подрост ели и пихты, липа, рябина, в подлеске — шиповник, рябина. Напочвенный покров: мелкотравье — 45,3, злаки — 43,3, мхи — 11,4 %, единично встречается крупнотравье (сныть, аконит).

Здесь формируется мощный полноразвитый профиль бурой горно-лесной псевдооподзоленной почвы следующего строения.

АО 0—5 см.	Слаборазложившаяся подстилка густо переплетена корнями, задернована.
А1 5—14 см.	Серая легкая глина мелкокомковатая, рассыпчатая, влажная, обилие корней. Переход постепенный.
А1А2 14—32 см.	Сероватая с белесой присыпкой легкая глина, прокрашена гумусом, встречаются редкие мелкие окатанные и остроугольные камни. Переход неясный.
А2В1 33—44 см.	Серовато-желтая легкая глина, намечается слоистость, распадается на мелкие орехи, единичные корни, влажная. Переход постепенный.

Таблица 12

Каменистость почв катены, %

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций					Сумма фракций
		>10*	10—5	5—3	3—2	2—1	
1	5—10	54,9	17,6	5,9	2,0	1,5	81,9
	10—20	50,0	16,9	8,9	3,5	2,7	82,0
	20—50	67,3	10,0	4,7	2,0	1,7	85,7
2	5—10	33,3	8,8	3,1	1,2	1,5	47,9
	10—30	17,9	8,9	4,9	2,4	2,7	36,8
	30—50	20,3	10,2	5,9	2,9	2,2	41,5
3	5—10	32,3	5,9	2,5	1,1	2,9	44,7
	10—20	14,5	5,8	2,5	1,6	2,8	27,2
	20—30	25,9	7,8	4,5	2,6	3,0	43,8
	30—50	20,3	5,5	2,8	1,8	2,1	32,5
5	5—10	3,7	1,8	2,1	1,9	2,0	11,5
	10—30	3,4	2,2	2,4	2,1	1,9	12,0
	30—50	6,3	3,5	3,2	2,0	1,6	16,7

* Размер фракций, мм.

B1*g* 44—61 см. Неоднородно-окрашенная легкая глина, сизовато-бурая, влажная, единичные очень мелкие окатанные гальки, переход неровный, постепенный.

B2 61—80 см. Ярко-бурая легкая глина, мокрая, ореховатой структуры, единичные корни, с глубины 75 см сочится вода. Переход постепенный.

BC*g* 80—130 см. Неоднородно-окрашенная ярко-бурая с сизыми пятнами легкая глина, мокрая, встречается мелкая дресва.

В зависимости от положения горных почв в катене они значительно различаются по каменистости. Очень высокой каменистостью отличается почва вершины увала, где сумма фракций более 1 мм (в пределах 50-сантиметровой почвенной толщи) составляет 82—85 % (табл. 12). Основная ее часть (50—67 %) приходится на фракцию более 10 мм. В большом количестве представлена и фракция размером 10—5 мм, доля которой уменьшается от верхних горизонтов к нижним. В почвах верхней и средней частей склона (разрезы 2 и 3) каменистость почти вдвое убывает. Здесь также доминируют в составе скелета наиболее крупные фракции. В этих местоположениях намечает-

ся дезинтеграция профиля, приводящая к уменьшению каменистости в средней его части, в основном за счет наиболее крупного обломочного материала. Количество последнего здесь, в отличие от почвы вершины увала, больше в верхнем горизонте, чем в нижнем. Почва нижней трети склона контрастно отличается от рассмотренных выше резким уменьшением каменистости в основном за счет самых крупных фракций. Итак, скелетность почв как одна из характерных черт горного почвообразования определяется различной интенсивностью процессов выветривания и почвообразования в разных частях катены.

По гранулометрическому составу мелкозема все рассматриваемые почвы представлены легкими и средними глинами. В зависимости от местоположения почв по рельефу и от направления почвообразования они значительно различаются по содержанию и распределению по профилю разных фракций (табл. 13). Наиболее интересно сопоставить закономерности изменения содержания ила и физической глины. Количество ила в почве вершины увала (разрез 1) довольно стабильно по профилю. Тем не менее можно констатировать незначительный вынос ила из горизонта B1, не сопровождающийся убылью физической глины. Последняя распределяется в профиле почвы по аккумулятивному типу, т. е. ее количество уменьшается по мере ослабления процессов выветривания и почвообразования.

В почве верхней части склона (разрез 12) обособляется почвенная толща мощностью 30—35 см, характеризующаяся значительно меньшим содержанием ила, чем нижележащие горизонты. Максимум ила наблюдается в горизонте BC. Элювиирование ила из верхней части профиля происходит за счет эрозионных процессов (как прошлых, так и современных), а также внутрипочвенного суспензионного перемещения его, сопровождающегося незначительным морфологическим осветлением этой толщи. Таким образом, гранулометрический состав бурой лессивированной почвы формируется прежде всего процессами элювиирования и внутрипочвенного оглинивания.

В почве средней части склона наблюдается сходная закономерность, с тем лишь отличием, что возрастает мощность элювиальной толщи (45 см). Горизонт максимума ила формируется не в зоне контакта с плотной породой, как в предыдущем разрезе, а непосредственно под элювиальной толщей.

Почва подножия склона содержит значительно больше ила в верхней части профиля, чем другие сравниваемые почвы. Объяснение этому, по-видимому, нужно искать в склоновой водной миграции веществ, увлекающей наиболее тонкие частицы. В этой части профиля возрастает мощность элювиальной толщи. По распределению физической глины элювиально-иллювиальное расчленение профиля выражено отчетливее. На границе верхних более легких и иллювиальных горизонтов развивается контактное оглеение.

Таблица 13

Гранулометрический состав почв

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %						
			1—0,25*	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01
1	A1	5—10	1,1	14,5	32,5	10,6	19,6	21,7	51,9
	B1	10—21	15,5	5,5	28,2	14,2	22,2	19,4	55,8
	BC	30—40	42,1	8,8	9,6	5,1	12,5	21,9	39,5
	СД	70—80	35,8	19,5	9,1	4,5	10,8	21,8	36,1
2	A1	4—10	3,9	4,2	34,1	16,6	18,8	22,4	57,8
	B1*l*	10—19	3,6	0,1	33,9	17,6	21,6	23,2	62,4
	B1	19—33	3,3	4,8	31,9	17,4	21,8	21,8	60,0
	B1	33—45	2,6	3,1	30,8	11,8	18,0	34,2	63,5
	B2	55—65	2,7	0,4	29,8	12,3	16,6	33,1	67,1
	B2	75—85	5,0	0,8	22,5	5,2	16,2	51,3	72,7
	C	100—110	8,5	1,5	30,4	13,2	23,2	28,2	59,6
3	A1	5—11	3,4	4,4	35,7	15,1	19,6	21,8	56,5
	A1A2	11—21	4,7	3,0	34,3	13,5	20,5	24,0	58,0
	A2B*l*	21—35	4,3	4,1	32,0	18,5	21,8	24,3	59,6
	B2	35—45	2,1	3,9	24,5	12,0	18,4	39,1	69,5
	B2	58—65	3,9	9,0	23,7	6,8	11,9	44,7	63,4
	C	75—85	4,8	6,4	22,7	6,5	11,2	48,4	68,1
	C	105—115	5,5	9,8	23,6	6,2	11,1	44,8	61,6
5	A1	5—14	2,1	5,6	28,4	12,7	18,2	84,6	65,9
	A1A2	14—24	1,7	6,3	22,8	12,5	23,8	33,4	69,7
	A1A2	24—32	2,8	2,8	27,8	14,8	19,1	33,8	67,1
	A2B1	33—44	1,6	1,8	29,6	12,9	19,8	34,3	67,0
	B1*g*	52—61	1,5	0,4	19,8	12,1	12,0	54,2	78,8
	B2	70—80	0,4	8,4	23,9	10,9	17,8	38,6	67,8
	BC*g*	100—110	0,7	7,2	21,2	11,1	16,8	43,1	71,0
	BC*g*	120—130	0,6	6,8	20,7	10,7	16,4	44,0	71,1

* Размер фракций, мм.

Особенности лесной растительности и различия водно-теплового режима на разных участках горной катены определяют и химические свойства лесных подстилок и почв. Наименее благоприятные условия для разложения растительных остатков складываются на вершине увала и у подножия склона, поэтому подстилки здесь имеют наибольшую величину потери при прокаливании (табл. 14). Кроме того, на вершине увала под подстилкой формируется грубогумусовый горизонт, характеризующийся большой потерей при прокаливании (26,7 %). Об интен-

сивности разложения можно судить также по величине отношения C:N, которая составляет в подстилке вершины увала и подножия склона соответственно 23 и 26, а в гумусовом горизонте 10 и 8, в то время как в подстилке верхней и средней частей склона это отношение уменьшается до 18, а в гумусовом горизонте до 7 %.

Почвы катены относятся к высокогумусным. Содержание гумуса в горизонте закономерно возрастает вниз по уклону местности (от 8 до 12 %). Другая отличительная особенность этих почв — глубокая пропитанность гумусом, что обусловлено особенностями гумусообразования в горных условиях и свободной миграцией гумусовых веществ в глубь почвенного профиля. Этот процесс наибольшее выражение получает в почвах вершины увала, благодаря чему содержание гумуса даже на глубине 70—80 см составляет 3 %. Вниз по уклону местности гумусовый профиль укорачивается приблизительно до 40 см в почвах верхней и средней частей склона и вновь возрастает (до 60 см), а в его подножии на этой глубине содержание гумуса не превышает 1 %.

Сравниваемые почвы характеризуются высокой кислотностью. Величина pH в верхних горизонтах определяется составом опада и условиями его разложения. Наибольшая кислотность у подстилок ельника разнотравно-злакового на вершине увала и мелкотравного у подножия склона, наименьшая — у почв более дренированных участков катены. В результате здесь образуется меньше продуктов кислотного гидролиза, что подтверждается данными определения гидролитической кислотности. Очевидно, уменьшение кислотности в рассматриваемых почвах верхней и средней частей склона обусловлено участием в напочвенном покрове широкотравья, а в древесном пологе — липы, опад которых содержит большое количество кальция, содействующего нейтрализации почвенной кислотности. У всех рассматриваемых почв резко увеличивается кислотность в горизонте, залегающем непосредственно под подстилкой, дальнейшее незначительное ее увеличение наблюдается в средней части почвенного профиля и последующее небольшое уменьшение — в почвообразующей породе. Более четкий ряд образуют эти почвы по содержанию обменного водорода по Гедройцу. Максимальное его содержание обнаружено в нижней трети склона, затем идут вершина увала и средняя часть склона, и наименьшее — в верхней его части. Содержание обменных оснований определяется совокупностью условий почвообразования в разных частях катены. Наиболее высокое их накопление в верхних горизонтах отмечено в почве подножия склона, что обусловлено, очевидно, не столько биологическим фактором, сколько условиями миграции веществ. Повышенная влажность слабодренируемых участков подножия склона обеспечивает высокое накопление обменных оснований в этих условиях в подстилке и в гумусовом

Таблица 14

Химический состав почв

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH		Поглощенные основания, мг·экв/100 г почвы			Гидролитич. кислотность	H^+ по Гедройцу	Степень насыщенности основаниями	Гумус	P_2O_5	K_2O
			солевой	водной	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	мг·экв/100 г почвы		%		мг/100 г почвы	
1	АО	0—5	4,2	5,3	23,5	11,8	35,3	47,6	8,2	42,8	73,3*	35,7	112,1
	АОА1	5—10	3,4	4,2	10,8	3,1	13,9	30,2	8,0	31,7	26,7*	10,1	30,9
	В1	10—21	3,0	3,8	3,3	1,8	5,1	18,9	9,4	21,2	4,3	9,6	8,3
	ВС	30—40	3,5	4,1	2,6	1,0	3,6	22,2	11,7	13,9	4,1	9,5	8,4
	СД	70—80	3,6	4,4	2,6	0,7	3,3	20,0	9,7	14,2	3,0	9,4	7,1
2	АО	0—4	4,6	5,4	41,7	4,3	46,0	35,8	4,1	54,1	53,9*	24,7	102,6
	А1	4—10	3,8	4,8	11,3	2,6	13,9	17,7	4,8	44,1	8,9	2,0	18,1
	В1*l*	10—19	3,8	4,8	3,9	1,5	5,4	16,4	6,5	24,6	3,8	1,1	11,6
	В1*l*	19—33	3,9	4,9	3,6	3,3	6,9	15,4	6,6	31,0	2,3	0,6	7,8
	В1	33—45	3,7	4,7	4,3	2,0	6,3	18,4	9,6	25,9	1,2	0,5	10,8
	В1	45—55	3,6	4,4	6,0	2,7	8,7	19,9	10,6	30,4	0,9	0,5	13,1
	В2	55—65	3,6	4,8	7,2	3,5	10,7	19,3	10,3	35,9	0,9	0,4	13,8
	В2	65—75	3,5	4,7	8,3	3,8	12,1	20,4	10,7	37,2	0,7	0,3	13,9
	В2	75—85	3,5	4,6	9,6	4,4	14,0	20,5	10,6	40,8	0,7	0,3	13,3
	ВС	87—100	3,6	4,5	6,4	3,5	9,9	15,5	7,5	39,3	0,9	0,2	12,3
	ВС	100—110	3,7	4,6	5,6	2,1	7,7	6,4	5,4	54,4	0,7	0,1	12,2
3	АО	0—5	4,5	5,3	30,7	8,5	39,2	31,2	5,3	55,7	43,8*	19,9	92,7
	А1	5—11	3,7	4,7	10,8	3,1	13,9	18,5	7,1	43,1	12,0	2,2	20,9
	А1А2	11—21	3,8	4,8	2,8	1,8	4,6	14,7	6,5	24,5	2,1	0,6	7,1

3 Заказ 193

Окончание табл. 14

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	pH		Поглощенные основания, мг-экв/100 г почвы			Гидролитич. кислотность	H^+ по Гедройцу	Степень насыщенности основаниями	Гумус	P_2O_5	K_2O
			солевой	водной	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	мг-экв/100 г почвы		%		мг/100 г почвы	
3	A2B*l*	21—35	3,8	4,8	3,8	2,1	5,9	15,0	7,4	28,1	1,4	0,5	7,1
	B2	35—45	3,6	4,7	5,4	2,3	7,7	22,4	12,5	25,7	1,0	0,3	10,2
	B2	45—53	3,6	4,5	6,2	2,3	8,5	22,4	12,5	28,4	0,9	0,3	12,2
	B2	53—65	3,5	4,5	7,0	2,5	9,5	19,5	10,8	32,9	0,7	0,3	11,8
	BC	65—75	3,5	4,4	7,7	2,9	10,6	16,6	8,4	38,9	0,9	0,2	13,1
	BC	75—85	3,5	4,5	8,5	3,1	11,6	16,0	8,1	42,2	0,4	0,7	13,8
	BC	85—95	3,6	4,4	7,9	2,9	10,8	14,9	7,5	41,9	0,4	0,2	11,7
	BC	95—105	3,7	4,5	9,1	3,9	13,0	15,8	8,3	45,1	0,6	0,2	13,2
	BC	105—115	3,8	4,6	7,7	4,1	11,8	13,2	5,9	47,4	0,7	0,1	13,3
5	AO	0—5	4,3	5,1	41,3	4,3	45,6	42,2	17,0	52,3	58,7*	27,3	96,9
	A1	5—14	3,5	4,4	12,5	3,1	15,6	29,2	11,1	34,9	12,2	3,5	25,2
	A1A2	14—24	3,6	4,7	6,5	2,2	8,7	24,3	12,1	26,4	4,1	1,2	16,3
	A1A2	24—32	3,6	4,7	6,1	2,1	8,2	21,6	11,1	27,5	2,8	1,0	13,7
	A2B1	32—44	3,6	4,7	7,8	3,2	11,0	18,8	7,5	37,1	1,4	0,6	12,8
	B1*g*	44—52	3,7	4,7	11,4	4,3	15,7	21,0	10,7	43,1	1,0	0,9	15,9
	B1*g*	52—61	3,7	4,7	14,4	5,8	20,2	20,3	10,1	50,0	1,0	0,8	16,0
	B2	61—70	3,5	4,6	12,6	4,1	16,7	14,2	6,4	54,4	0,7	0,7	13,7
	B2	70—80	3,6	4,7	13,6	4,4	18,0	10,6	4,2	63,3	0,5	0,7	12,9
	BC*g*	80—90	3,6	4,6	15,7	4,9	20,6	9,9	3,4	67,9	0,5	0,6	14,5
	BC	90—100	3,6	4,6	16,0	4,9	20,9	8,4	2,7	71,6	0,4	0,6	13,2
	BC	100—110	3,6	4,7	16,9	5,2	22,1	8,7	3,2	71,7	0,5	0,6	14,4
	BC	110—120	3,7	4,7	17,7	5,4	23,1	8,4	2,9	73,4	0,5	0,4	14,5
	BC	120—130	3,7	4,7	16,5	5,9	22,4	7,3	2,2	75,7	0,5	0,4	13,2

* Потери при прокаливании.

горизонте. Не исключено здесь и влияние щелочно-земельных оснований, переносимых поверхностным стоком с верхних элементов рельефа. Наименьшее количество обменных оснований содержится в почве вершины увала. Однако эта почва сходна по содержанию их с двумя другими участками катены. Сравниваемые почвы отличаются не только абсолютным содержанием оснований, но и характером распределения их по профилю. Для почвы вершины увала отмечается резкое уменьшение содержания обменных оснований при переходе от подстилки к гумусовому горизонту и далее к непосредственно залегающему под ним слою. Глубже по профилю они распределяются сравнительно равномерно, достигая минимума в почвообразующей породе. Такое аккумулятивное распределение поглощенных оснований характерно для маломощных горных почв. Уменьшение содержания поглощенных оснований с глубиной свидетельствует об ослаблении в этом направлении интенсивности процессов выветривания и почвообразования. В то же время оно может быть связано с внутрисклоновой миграцией веществ по водоупору плотной горной породы. Профили почвы верхней и средней частей склона (разрезы 2 и 3) отчетливо дифференцированы по элювиально-иллювиальному типу. В почве подножия склона (разрез 5) иллювиальное накопление поглощенных оснований практически не выражено и максимум их содержания в пределах минеральной толщи соответствует почвообразующей породе. В целом полученные данные показывают, что вниз по уклону местности содержание поглощенных оснований возрастает, особенно в почвообразующей породе, а также изменяется характер их распределения по профилю. С этим согласуется степень насыщенности почв основаниями. Очень слабо насыщена основаниями почва вершины увала, ее насыщенность постепенно уменьшается с глубиной. В почвах верхней и средней частей склона наиболее насыщены аккумулятивные горизонты, тогда как в почве подножия склона — нижние. Во всех почвах склоновых местоположений по уменьшению степени насыщенности отчетливо обособляется элювиальный горизонт.

Рассматриваемые почвы отличаются невысоким содержанием фосфора. Он концентрируется в основном в подстилке и резко убывает в минеральных горизонтах. Сильнее всего фосфор накапливается в почвах вершины увала — в пределах минеральной толщи его примерно в 10 раз больше, чем в других почвах. Рассматриваемая почва содержит большое количество калия в аккумулятивных горизонтах, тогда как в нижележащей толще его больше в почвах других частей катены.

Изучение почв проводили путем стационарных наблюдений и лабораторных почвенно-аналитических работ, методика которых состояла в следующем. Наблюдения за динамикой изменения биомассы напочвенного покрова, массы подстилки и водорастворимых веществ в ней и гумусовом горизонте вели в те-

чение четырех лет. Ежемесячно (20—25 числа) на пробных площадях в 5—10-кратной повторности методом случайной выборки с 1 м^2 снимали напочвенный покров (надземную часть), определяли его массу и полевую влажность. Образцы разбирали по основным группам растительности: разнотравье и злаки, отдельно учитывали аконит, папоротники, мхи. После снятия напочвенного покрова с тех же учетных площадок снимали подстилку с подразделением на два слоя АО′ и АО″, определяли ее массу и полевую влажность. Запасы подстилки и химических элементов в ней пересчитывали на абсолютно сухую навеску и выражали в г/м^2. Снятую со всех учетных площадок подстилку смешивали отдельно по горизонтам и отбирали средний образец для химического анализа. Из нижележащего гумусового горизонта без определения его массы брали смешанный образец для анализа. В свежих образцах подстилки и гумусового горизонта проводили определение водно-растворимых веществ по общепринятой методике [2]. В отдельной навеске устанавливали водно-растворимый гумус, используя для экстракции горячую воду.

Опад древесного яруса собирали со стационарных опадоуловителей (по 10 на каждой пробной площади), обычно 2 раза в году: весной (в конце апреля — начале мая) и осенью (в конце октября). Собранный материал разбирали, выделяли три фракции: хвою, листья и прочее. Первые две, по определению Л. О. Карпачевского [26], носят название «активная фракция» (в дальнейшем при употреблении этого термина подразумеваются хвоя и листья). В целях изучения скорости разложения опада отдельных видов деревьев и растений напочвенного покрова проводили опыт: в капроновых мешочках на всех пробных площадях закладывали на поверхность почвы хвою ели, пихты, листья березы, осины, липы, разнотравья, злаки. В дальнейшем, спустя год, два и три, в некоторых образцах определяли убыль в массе, содержание зольных элементов и азота.

В течение четырех лет делали в конце марта снегомерную съемку. Устанавливали высоту снегового покрова и брали образцы снега металлическим цилиндром на всю его глубину; вычисляли запасы воды в снеге и определяли водно-растворимые вещества в снеговых водах. В летнее время на одной из пробных площадей (№ 3) собирали дождевые осадки, прошедшие через крону различных деревьев (ели, пихты, березы и осины) и через растительные ассоциации (мелкотравную, злаково-рябиновую, злаково-липовую, высокотравно-липовую). Для контроля проводили сбор осадков на открытой поляне вне влияния растительности. Собранные осадки измеряли мерным цилиндром и анализировали (определяли те же химические элементы, что в снеге и в водной вытяжке из подстилки). Для этой цели в проекции кроны и растительной ассоциации устанавли-

вали по 7—10 приемников одинакового диаметра на уровне поверхности почвы.

Для определения фитомассы древесного полога на пробных площадях делали пересчет древостоя с одновременным измерением диаметра каждого дерева на высоте 1,3 м (выполнен младшим научным сотрудником лаборатории лесоведения Ю. М. Алесенковым). Для вычисления массы органического вещества древостоя использовали метод средней модели, согласно методике, применяемой Л. А. Гришиной и Е. М. Самойловой [11], анализ растительных образцов вели по этой же методике.

Окислительно-восстановительный потенциал определяли с помощью полевого потенциометра ППМ-03-М1 с хлорсеребряным и напыленным платиновым электродами. Результаты измерений пересчитаны на водородный электрод. Измерение E_h проводили в теплые периоды 1981—1984 гг. с интервалами, зависящими от погодных условий сезонов наблюдения. Одновременно находили в некоторые сроки величину pH водной и солевой вытяжек из почв, а также содержание закиси и окиси железа в 0,1N сернокислой вытяжке.

Для учета миграции макроэлементов через профиль почв устанавливали под основные горизонты и в основание профиля хроматографические колонки с катионитом КУ-I в «H»-форме и анионитом АН-16 в «OH»-форме. Через год колонки извлекали и определяли по общепринятым методикам сорбированные смолами макроэлементы: кальций, магний, фосфор, калий, железо, алюминий. Для количественного изучения миграции перечисленных элементов с поверхностными водами в теплый период определяли расходы и химический состав воды в ручье, дренирующем катену, а также в речке Белая Каменка по трем створам. Площади водостоков, соответствующих створам, вычисляли по топографической карте масштаба 1 : 25 000.

Физические свойства изученных почв характеризовали каменистостью, гранулометрическим составом мелкозема и объемной массой. Каменистость определяли методом монолитов, которые брали с учетом мощности генетических горизонтов до глубины 50 см с площади 50×50 см^2. Затем почву просеивали через сита с диаметром ячеек 10, 5, 3, 2, 1 мм. Обломки горной породы тщательно очищали от мелкозема, промывали, просушивали и взвешивали, находили объемную массу всего монолита камней и мелкозема. Все определения проводили в трех повторностях, средняя из них использована в работе. Гранулометрический состав мелкозема устанавливали по методу Качинского.

Для химической характеристики почв находили разные формы кислотности, содержание поглощенных оснований (трилонометрически), гумус, азот, содержание подвижных форм фосфора и калия, валовой химический состав по общепринятым

методам. Качественный состав гумуса изучали по методу В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [43], оценку гумусного состояния давали по показателям, предложенным в [39].

Для определения групп и форм железа применены методы Мера-Джексона (несиликатное железо), Тамма (аморфное) и Баскомба (органо-минеральные соединения). В группе несиликатного железа выделены его окристаллизованные и аморфные формы. Окристаллизованное железо подразделяли далее на слабо- и сильноокристаллизованные формы, а аморфное — на органо-минеральные и собственно минеральные соединения.

Количество силикатного железа вычислено по разности между валовым и несиликатным, слабоокристаллизованного — по разности между количеством железа, установленного методом Баскомба, и аморфного, а содержание сильноокристаллизованного железа рассчитано по разности между количеством несиликатного и определенного по методу Баскомба.

В проведении полевых и лабораторных исследований принимали активное участие Е. П. Прокович, Г. Н. Лукьянец, С. Г. Журавлева и И. В. Бойкова, которым авторы приносят благодарность.

Глава 3

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ, РАЗЛОЖЕНИЯ ОПАДА И ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ

1. ПОСТУПЛЕНИЕ ОПАДА

Поступление древесного опада на пробных площадях учитывали в течение пяти лет на стационарных постоянных опадоуловителях. В течение трех лет учет опада производили дважды в год: весной (в мае) и осенью (в октябре). Основная масса листового опада — 90—96 % (табл. 15) поступает осенью. Хвоя опадает в течение всего года: в теплый период (осенний опад) ее поступает в опадоуловители 19—40 %, в холодный (весенний опад) — 60—80 % от общего поступления. В разные годы наблюдений значительно меняется (в 1,5—2 раза) общее количество годового опада, как и соотношения осеннего и весеннего его поступлений (табл. 15, 16).

Обнаружена прямая зависимость поступлений осеннего опада (г/м^2) от количества атмосферных осадков (1—5 — пробные площади):

Кол-во осадков, мм	Опад 1	2	3	5
267	98	45	45	106
380	155	142	155	160

Атмосферные осадки влияют также на изменение соотношения весеннего и летнего опадов: в сухие годы доля осеннего опада значительно снижается и составляет 16—45 % от общего, в то время как во влажные возрастает до 54—67 % (табл. 17).

По фракционному составу опад подразделяется на три части: листья (1), хвоя (2) и шишки, ветки и прочее (3). Первая и вторая фракции — активная часть опада, его качество и количество в основном и определяют биологический круговорот, третья — неактивная часть составляет около 20 % от общего количества (см. табл. 15). Если поступление опада листьев и хвои зависит от породного состава древостоя, сезона и климатических условий, то неактивной части — от частоты и силы ветра.

Таблица 15

Фракционный состав опада, г/м²

№ пр. пл.	Год	Сезон	Листья	Хвоя	Прочее	Всего	% от годового поступления		
							Листья	Хвоя	Прочее
1	1981	Осень	88,7 (44)*	90,6 (45)	20,5 (11)	199,8	93	40	39
	1982	Весна	6,8 (4)	142,1 (78)	32,2 (18)	181,1	7	60	61
		За год	95,5 (25)	232,7 (61)	52,7 (14)	380,9	100	100	100
	1986	За год	72,5 (27)	124,9 (46)	72,8 (27)	270,2	—	—	—
2	1981	Осень	98,1 (55)	43,2 (24)	38,9 (21)	180,2	96	32	65
	1982	Весна	4,8 (4)	91,9 (78)	20,6 (18)	117,3	4	68	35
		За год	102,9 (35)	135,1 (45)	59,5 (20)	297,5	100	100	100
	1986	За год	66,7 (24)	154,0 (55)	59,7 (21)	280,4	—	—	—
3	1981	Осень	96,5 (57)	39,5 (23)	33,2 (20)	169,2	90	29	57
	1982	Весна	11,3 (8)	96,6 (73)	25,3 (19)	133,2	10	71	43
		За год	109,8 (36)	136,1 (45)	58,5 (19)	302,4	100	100	100
	1986	За год	109,2 (35)	109,9 (35)	89,0 (30)	308,1	—	—	—
5	1981	Осень	145,5 (76)	16,4 (8)	28,2 (16)	188,1	96	19	65
	1982	Весна	5,8 (6)	69,9 (77)	15,1 (17)	90,8	4	81	35
		За год	149,3 (54)	86,3 (31)	43,3 (15)	278,9	100	100	100
	1986	За год	113,5 (47)	68,4 (28)	60,7 (25)	242,6	—	—	—

* В процентах

Таблица 16

Поступление древесного опада по годам, г/м²

№ пр. пл.	1981—1982	1982—1983	1983—1984	1984—1985	1985—1986	Средн.
1	380,9	221,5	232,9	191,3	270,2	259,4
2	279,5	283,1	186,3	205,1	280,4	250,5
3	302,4	207,6	289,2	294,3	308,1	280,3
5	278,9	235,4	247,7	180,2	242,0	236,8

На исследуемой катене масса опада листьев увеличивается по склону: 84—85—108—113 г/м² (усредненные данные, см. табл. 16), опад хвои уменьшается в том же направлении: 179—144—123—77 г/м². Несмотря на то, что количество опада значительно варьирует по годам, соотношение опавших листьев и хвои сохраняется. На пробных площадях 1 и 2 хвойного опада поступает в 2 раза больше по сравнению с опадом листьев; на пробную площадь 3 поступает примерно равное количество хвои и листьев (превышение хвои в 1,1 раза); исключение составляет пробная площадь 5, где больше (в 1,7 раза) поступает опада листьев. Таким образом, роль хвойных пород в поступлении веществ с опадом уменьшается от верхних частей катены к нижней.

Химический анализ древесного опада показал, что различные его фракции значительно отличаются по содержанию элементов и их химический состав существенно варьирует во времени.

Наибольшую зольность имеют опавшие листья, она изменяется в пределах 5,3—7,3 % (табл. 18) и существенно — на разных пробных площадях. Содержание зольных элементов и азота в листьях сильно колеблется по годам. Сравнение химического состава листьев осеннего сбора 1981 и 1982 гг. (при близких климатических показателях их вегетационных сезонов) обнаруживает существенные различия: в опаде 1981 г. в 1,5 раза больше фосфора и калия, в 1,5—6 раз серы на всех пробных площадях и значительно меньше кальция и магния на пробных площадях верхней части катены (пробные площади 1 и 2). Ряды накопления химических элементов опадом 1982 г. идентичны на всех пробных площадях, а опадом 1981 г. не имеют такой четкой последовательности. Хвойный опад имеет меньшую зольность, но она колеблется в более широких пределах — от 2,5 до 5,7 %. По сравнению с листовым опадом в нем содержится меньше кальция, магния, фосфора, калия и азота.

В фракцию «Прочее» входят ветки, шишки, чешуйки, обломки листьев и хвои. От соотношения этих составляющих зависит химический состав фракции. Зольность ее колеблется в больших

Таблица 17

Поступление древесного опада по сезонам, % от годового опада

№ пр. пл.	1981 г.	1982 г.	1983 г.	1984 г.
1	52/—	44/48	67/56	—/33
2	60/—	16/40	60/84	—/40
3	56/—	22/44	54/78	—/46
5	67/—	45/33	65/55	—/35

Примечание. В числителе — за V—X, в знаменателе — за XI—IV.

пределах — от 1,82 до 5,1 %, по сравнению с хвоей и листьями в ней содержится значительно меньше калия, фосфора, кальция и магния.

Поступление химических элементов на поверхность почвы с древесным опадом зависит от его количества и химического состава и подвержено значительным колебаниям по годам. Например, поступление химических элементов с осенним опадом меняется в разные годы в 2—4 раза.

Закономерности суммарного поступления химических элементов с древесным опадом в пределах изученной катены рассмотрим на примере 1982 г. (табл. 19), так как его климатические показатели наиболее близки к среднемноголетним. Итак, количество элементов, поступающих на поверхность почвы с опадом лиственных пород, увеличивается вниз по склону (2,13—2,17—2,41—3,87 г/м^2), а с опадом хвои уменьшается, что согласуется с количеством соответствующих фракций в опаде. В верхней части катены (пробные площади 1, 2, 3) большинство элементов поступает с опадом хвои и их количество превышает поступление с опадом листьев в 2,7; 1,7; 1,5 раза соответственно. В нижней части катены (пробная площадь 5) возрастает роль опада лиственных деревьев, с ним поступает в 1,2 раза больше элементов.

Если абсолютные величины поступления химических элементов с древесным опадом сильно варьируют в разные годы и на

Таблица 18

Содержание химических элементов в опаде, %

№ пр. пл.	Фракция опада	Зольность	Si	Al	Fe	Ca	Mg	S	P	K	N	Ряды накопления элементов
						Осень 1981 г.						
1	Листья	5,96	0,24	0,04	0,10	1,25	0,33	0,26	0,38	0,22	1,91	Na>Ca>P>Mg>S>Si≥K>Fe>Al
2		6,25	0,23	0,03	0,11	1,33	0,33	0,39	0,35	0,26	1,48	N>Ca>S>P>Mg>Si>K>Fe>Al
3		6,32	0,22	0,02	0,10	2,25	0,42	0,27	0,31	0,32	1,54	Ca>N>Mg>K≥P>S>Si>Fe>Al
5		7,95	0,57	0,02	0,11	1,95	0,25	0,79	0,24	0,32	1,08	Ca>N>S>Si>K>Mg>P>Fe>Al
1	Хвоя	2,50	0,20	0,03	0,07	0,74	0,09	0,24	0,17	0,09	1,29	N>Ca>S>Si>P>K=Mg>Fe>Al
2		3,73	0,45	0,03	0,08	0,39	0,07	0,59	0,19	0,16	1,23	N>S>Si>Ca>F>K>Fe>Mg>Al
3		5,18	0,43	0,02	0,08	1,30	0,16	0,18	0,18	0,17	1,55	N>Ca>Si>S=P≥K>Mg>Fe>Al
5		5,60	0,45	0,04	0,07	1,29	0,15	0,84	0,15	0,09	1,41	N>Ca>S>Si>Mg=P>K>Fe>Al
1	Прочее	1,82	0,12	0,02	0,06	0,45	0,08	0,12	0,12	0,06	1,23	N>Ca>Si=S=P>Mg>K=Fe>Al
2		2,34	0,10	0,01	0,04	0,95	0,07	0,25	0,09	0,05	1,37	N>Ca>S>Si>P>Mg>K>Fe>Al
3		3,56	0,11	0,02	0,06	1,12	0,13	1,13	0,12	0,11	1,20	N>Ca>S=Mg>P≥K=Si>Fe>Al
5		4,19	0,12	0,02	0,04	1,13	0,10	0,52	0,11	0,07	0,85	Ca>N>S>Si>P≥Mg>K>Fe>Al

Окончание табл. 18

№ пр. пл.	Фракция опада	Зольность	Si	Al	Fe	Ca	Mg	S	P	K	N	Ряды накопления элементов
						Весна 1982 г.						
1	Листья	6,05	0,55	0,03	0,58	0,90	0,15	0,74	0,16	0,04	1,92	N>Ca>S>Fe≥Si>Mg>P>K>Al
2		6,27	0,57	0,03	0,49	0,74	0,03	0,93	0,15	0,04	2,08	N>S>Ca>Si>Fe>P>K>Mg=Al
3		6,22	0,45	0,03	0,41	1,39	0,21	0,55	0,13	0,05	1,70	N>Ca>S>Si>Fe>Mg>P>K>Al
5		6,38	0,63	0,04	0,30	1,39	0,17	0,83	0,16	0,05	1,69	N>Ca>S>Si>Fe>Mg≥P>K>Al
1	Хвоя	3,88	0,36	0,02	0,15	0,57	0,19	0,46	0,10	0,04	1,24	N>Ca>S>Si>Mg>Fe>P>K>Al
2		5,11	0,51	0,03	0,19	1,02	0,09	0,61	0,13	0,06	1,42	N>Ca>S>Si>Fe>P>Mg>K>Al
3		5,71	0,21	0,03	0,15	1,19	0,14	0,55	0,15	0,06	1,29	N>Ca>S>Si>Fe=P≥Mg>K>Al
5		5,53	0,73	0,03	0,18	1,19	0,16	0,70	0,12	0,06	1,32	N>Ca>Si≥S>Fe>Mg>P>K>Al
1	Прочее	2,61	0,46	0,03	0,15	0,42	0,09	0,55	0,11	0,02	—	S>Si>Ca>Fe>P>Mg>Al>K
2		2,56	0,22	0,04	0,12	0,53	0,02	0,82	0,16	0,05	1,15	N>S>Ca>Si>P>Fe>K>Al>Mg
3		2,51	0,17	0,12	0,12	0,49	0,10	0,51	0,10	0,04	1,40	N>S≥Ca>Si>Al>Fe>P>Mg>K
5		3,19	0,30	0,02	0,21	0,57	0,08	0,65	0,11	0,05	1,38	N>S>Ca>Si>Fe>P>Mg>K>Al
						Осень 1982 г.						
1	Листья	6,21	0,41	0,03	0,12	1,65	0,36	0,17	0,27	0,15	1,23	Ca>N>Si>Mg>P>S>K>Fe>Al
2		7,30	0,73	0,05	0,18	1,95	0,47	0,23	0,31	0,20	1,51	Ca>N>Si>Mg>P>S>K>Fe>Al
3		5,31	0,33	0,03	0,10	1,76	0,28	0,31	0,19	0,17	1,54	Ca>N>Si>S>Mg>P>K>Fe>Al
5		5,93	0,39	0,02	0,08	1,53	0,18	0,13	0,19	0,16	1,15	Ca>N>Si>P=Mg>K>S>Fe>Al
1	Прочее	2,99	0,24	0,02	0,12	0,68	0,03	0,10	0,07	0,07	1,06	N>Ca>Si>Fe>S>P=K>Mg>Al
2		5,18	0,61	0,03	0,43	0,87	0,20	1,02	0,15	0,05	1,20	N>S>Ca>Si>Fe>Mg>P>K>Al
3		4,07	0,34	0,03	0,14	0,98	0,13	4,80	0,20	0,11	—	S>Ca>Si>P>Fe>Mg>K>Al
5		3,48	0,25	0,02	0,15	0,85	0,14	0,01	0,11	0,10	1,27	N>Ca>Si>Fe>Mg>P>K>Al>S

Таблица 19

Поступление с опадом химических элементов за год, г/м²

№ пр. пл.	Фракция опада	Si	Al	Fe	Ca	Mg	S	P	K	N	Сумма
1	Листья	0,22	0,01	0,07	0,76	0,17	0,10	0,12	0,07	0,61	2,13
	Хвоя	0,65	0,04	0,26	1,29	0,37	0,72	0,22	0,10	2,15	5,80
	Прочее	0,20	0,02	0,19	0,32	0,03	0,18	0,06	0,02	0,66	1,59
	Сумма	1,07	0,07	0,43	2,37	0,57	1,00	0,40	0,19	3,42	9,52
2	Листья	0,29	0,02	0,08	0,66	0,17	0,12	0,12	0,07	0,64	2,17
	Хвоя	0,47	0,03	0,18	0,89	0,08	0,56	0,12	0,06	1,30	3,69
	Прочее	0,10	0,01	0,07	0,20	0,02	0,27	0,05	0,01	0,36	1,09
	Сумма	0,86	0,06	0,33	1,75	0,27	0,95	0,29	0,14	2,30	6,95
3	Листья	0,18	0,01	0,09	0,86	0,13	0,18	0,08	0,08	0,80	2,41
	Хвоя	0,20	0,03	0,14	1,15	0,13	0,53	0,14	0,06	1,24	3,62
	Прочее	0,06	0,03	0,04	0,17	0,04	0,37	0,04	0,02	0,40	1,17
	Сумма	0,44	0,07	0,27	2,18	0,30	1,08	0,26	0,16	2,44	7,20
5	Листья	0,40	0,02	0,09	1,50	0,18	0,17	0,19	0,15	1,17	3,87
	Хвоя	0,50	0,02	0,13	0,83	0,11	0,49	0,08	0,04	0,92	3,12
	Прочее	0,09	0,01	0,05	0,21	0,03	0,10	0,03	0,02	0,38	0,92
	Сумма	0,99	0,05	0,27	2,54	0,32	0,76	0,30	0,21	2,47	7,91

Таблица 20

Ежегодная потеря в массе при разложении растительных образцов, %

Растительные образцы	Время разложения, годы															
	1	2	3	За 3 года	1	2	3	За 3 года	1	2	3	За 3 года	1	2	3	За 3 года
	Пр. пл. 1				Пр. пл. 2				Пр. пл. 3				Пр. пл. 5			
Хвоя																
ели . . .	40	15	2	57	38	8	14	60	44	4	12	60	24	27	4	55
пихты .	41	11	3	55	44	9	9	62	35	15	10	60	36	10	17	63
Листья																
осины .	53	4	5	62	55	5	2	62	51	9	2	62	51	4	4	59
липы . .	40	7	2	49	39	6	3	48	40	4	5	49	41	9	2	52
березы .	54	7	6	67	54	5	7	68	58	9	1	68	52	1	8	61
Злаки . . .	53	16	3	72	58	3	2	63	60	6	8	74	60	3	3	66
Разнотравье .	61	4	3	68	59	3	11	73	60	5	5	70	50	13	6	69

разных пробных площадях, то соотношение элементов в опаде остается стабильным. Больше половины элементов составляют азот и кальций (31—35 и 25—32 % соответственно), четвертая часть элементов — это кремний и сера (10—12 и 10—15 % соответственно), в третью группу выделяются магний, железо, фосфор — около 4 % каждый, а также калий и алюминий — 2 и меньше 1 % соответственно.

2. РАЗЛОЖЕНИЕ ОПАДА

Опад, поступая на поверхность почвы, подвергается разложению. На первом этапе происходит вымывание водно-растворимых веществ с осадками. Этот процесс зачастую начинается еще на живущем дереве и продолжается на поверхности почвы. О начальных этапах изменений химического состава опада можно судить по анализу листового опада, собранного осенью и весной, после промывания его талыми снежными водами (см. табл. 18). В листьях, собранных весной, значительно снижается количество калия (в 6 раз), кальция, магния, фосфора (в 1,5—2 раза) и увеличивается содержание железа (в 2—6 раз) и кремния (в 2 раза). Подобные изменения происходят и в химическом составе хвойного опада: в хвое весеннего сбора уменьшается содержание калия (в 1,5—2,5 раза), фосфора (в 1,7) и увеличивается — кремния (в 1,1—1,8), железа (в 2,0—2,6), серы (в 1,1—3,0 раза). Приведенные цифры характеризуют относительное перераспределение элементов в хвойном или лиственном опаде в целом, а не в отдельных породах деревьев. Для выяснения сравнительной скорости разложения опада отдельных видов деревьев был проведен полевой опыт по разложению. Для этого на поверхность почвы помещали изолированные капроновой сеткой (в мешочках) отдельно листья березы, осины, липы, хвою ели и пихты, т. е. основных древесных пород, представленных на пробных площадях. Поскольку в изученных еловых биоценозах хорошо развит напочвенный покров и его опад имеет существенное влияние на накопление подстилки и круговорот веществ, были взяты для опыта две растительные группы напочвенного покрова: разнотравье и злаки. Несмотря на то, что на изолированный опад не влияют беспозвоночные животные и его разложение идет в 1,3—3 раза медленнее [26], подобный эксперимент дает представление о сравнительной скорости разложения опада отдельных видов растений и растительных групп.

На каждой пробной площади закладывали по 15 (предварительно взвешенных) капроновых мешочков с перечисленными выше растительными образцами. После 1, 2, 3 лет брали по пять мешочков каждый год. Данные потерь в массе приведены как средние из пяти определений, выраженные в процентах к исходным, минус потеря в предыдущие годы (табл. 20).

Наблюдения показали, что наиболее интенсивно за три года разложились растения напочвенного покрова (разнотравье и злаки), потеря их массы составляет 69—70 % (в среднем из образцов всех пробных площадей). По убывающей степени разложения листья (хвою) древесного полога можно расположить в следующем порядке: береза — осина — пихта — ель — липа. Разложение изолированного капроновым мешочком опада протекает неравномерно во времени: в первый год потеря массы наибольшая — от 36 до 58 %, в последующие два года происходит резкое снижение темпов разложения — во второй год разлагается 5—13, а в третий 3—10 %.

Разложение опада каждой древесной породы и напочвенного покрова имеет некоторые отличительные черты. Хвоя ели и пихты разлагается постепенно: в первый год на 36—39, во второй — на 11—13, в третий — на 8—10 %, напочвенный покров (злаки и разнотравье) — очень интенсивно в первый год (57—58 %) и незначительно в последующие (во второй 5—7, в третий — 4—5 %). Осина и береза по темпам разложения приближаются к образцам напочвенного покрова: в первый год — 52—54, во второй и третий — по 5 %. Медленнее всех разлагаются листья липы: в первый год — 40, во второй — 6, в третий — 3 %.

Интенсивность разложения образцов на разных пробных площадях существенно не различается. Однако по средним данным потери в массе (из всех образцов) пробной площади можно расположить в следующем порядке, %: пр. пл. 3 (63) > > пр. пл. 2 (62,3) > пр. пл. 1 (61,4) > пр. пл. 5 (60,7).

Определяли содержание зольных элементов и азота в исходных образцах и после каждого года разложения. После первого и второго года образцы разных древесных почв анализировали отдельно с каждой пробной площади. После третьего года составляли смешанные образцы с разных площадей, так как количество оставшейся массы оказалось недостаточным для проведения анализа.

Анализ показал, что по мере разложения растительной массы происходит увеличение зольности, содержания кремния, железа, азота, повсеместно снижается количество магния. Кальций, фосфор, калий, сера присутствуют то в бóльших, то в меньших дозах. Все отмеченные изменения в содержании элементов относительны, так как расчет производился на абсолютно сухую массу разложившегося образца. Интересно выяснить, какие элементы и в какой последовательности выносятся из разлагающихся образцов. Используя величину потери в массе, мы произвели расчет на оставшуюся массу, в результате получено содержание элементов в разложившемся образце в процентах от исходного. Затем вычислили процент потерянных элементов по отношению к исходному образцу, назвав эту величину «скоростью выщелачивания» (табл. 21, 22).

Таблица 21

Скорость выщелачивания элементов из опада за три года, % к исходному

Растительный образец	Выщелоченный элемент							
Хвоя								
ели	Mg	P	Ca	K	S	N	Fe	Si
	94	92	87	69	50	38	33	28
пихты	Mg	Ca	K	S	P	N	Fe	Si
	86	84	71	57	56	44	40	17
Листья								
березы . . .	Mg	Ca	K	S	N	Si	P	Fe
	93	77	77	70	61	40	39	29
осины	Mg	Ca	S	N	P	Si	K	Fe
	85	82	80	52	50	50	34	31
липы . . .	Ca	Mg	N	P	Si	S	K	Fe
	79	73	60	58	53	50	33	25
Разнотравье . .	K	Ca	Mg	S	P	N	Si	Fe
	96	90	88	86	65	60	30	22
Злаки	Mg	Ca	N	S	P	K	Si	Fe
	92	82	71	65	54	52	41	22

Произведенные расчеты показали, что все элементы выносятся при разложении растительных образцов, однако интенсивность их выноса неодинакова. Наибольшей скоростью выщелачивания обладает магний. Из большинства видов растений он выносится интенсивнее других элементов. За три года разложения образцы теряют почти весь магний (см. табл. 21): злаки, разнотравье, береза, ель, пихта, осина утрачивают 87—94 %. Кальция теряется меньше — 77—90 %, и выносится он менее энергично. Исключение составляют листья липы и разнотравье: из липы кальций выносится энергичнее других элементов (что подтверждает мнение о значительной роли липы в обогащении почв кальцием), из разнотравья только калий выносится более интенсивно. По выносу калия разнотравье опережает другие растения: оно теряет 96 %, причем половину в первый год, тем самым являясь главным источником поступления калия в почву. Большими потерями фосфора отличается хвоя ели — 92 %, в то время как другие растения теряют 39—65 %. Надо отметить, что из хвойных пород фосфор в наибольших количествах выносится в третий год разложения (см. табл. 22), в то время как из лиственных — преимущественно в первый год.

Таблица 22

Ежегодная скорость выщелачивания элементов при разложении растительных образцов, % к исходному

Растительный образец	Время разложения, годы	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S	N
				Пр. пл. 1					
Хвоя ели	1	3	8	42	48	14	24	27	30
	2	1	10	34	28	14	21	6	16
	3	17	12	11	18	64	24	17	8
Хвоя пихты	1	4	7	25	45	12	27	16	30
	2	13	13	0	23	0	30	12	22
	3	0	20	59	18	44	14	29	—
Листья березы	1	10	12	36	62	27	32	38	25
	2	17	6	12	28	6	31	7	35
	3	13	11	29	3	6	14	25	1
Листья осины	1	4	5	40	55	27	14	40	31
	2	0	1	38	18	10	0	25	19
	3	46	25	4	12	13	20	15	2
Листья липы	1	5	6	24	50	20	26	14	33
	2	11	14	1	3	7	1	—	28
	3	37	5	54	20	31	8	38	—
Разнотравье	1	2	18	52	68	26	53	28	36
	2	1	7	22	12	13	17	23	26
	3	27	0	16	8	30	26	3[illegible]	2
Злаки	1	3	5	41	24	26	28	30	34
	2	40	6	16	0	1	4	5	37
	3	—	11	25	68	27	20	30	0
				Пр. пл. 2					
Хвоя ели	1	10	12	54	58	20	30	30	22
	2	9	12	14	21	20	18	20	2
	3	11	4	19	15	52	21	0	14
Хвоя пихты	1	12	10	30	51	18	32	12	30
	2	13	10	5	22	7	25	2	22
	3	—	20	49	13	31	14	43	—
Листья березы	1	11	12	30	62	16	38	10	31
	2	29	11	4	23	0	11	0	20
	3	0	4	43	8	23	28	60	10
Листья осины	1	6	11	44	57	32	15	26	34
	2	29	14	36	11	9	16	22	17
	3	15	6	2	17	9	3	32	1
Листья липы	1	8	8	20	46	14	18	12	40
	2	5	7	3	7	13	3	0	19
	3	40	10	56	20	31	12	38	.

Продолжение табл. 22

Растительный образец	Время разложения, годы	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S	N
Разнотравье	1	6	18	53	70	27	54	30	37
	2	34	1	34	7	21	24	24	20
	3	—	6	3	11	17	18	32	3
Злаки	1	7	8	40	36	28	26	18	37
	2	28	14	25	24	17	2	8	24
	3	6	0	17	32	9	24	39	10
Пр. пл. 3									
Хвоя ели	1	12	20	50	52	24	28	27	25
	2	8	23	17	27	28	24	23	0
	3	11	0	20	15	38	17	10	13
Хвоя пихты	1	10	13	20	54	18	33	26	30
	2	7	27	0	16	7	24	—	10
	3	0	0	64	16	31	14	57	14
Листья березы	1	14	18	45	84	30	42	41	42
	2	23	11	10	7	9	25	9	13
	3	3	0	22	2	0	10	20	2
Листья осины	1	13	12	44	54	20	22	44	38
	2	33	13	6	9	5	16	8	15
	3	4	6	32	22	25	—	28	—
Листья липы	1	10	8	29	53	28	20	21	36
	2	43	7	10	21	10	5	23	20
	3	0	10	40	—	20	8	6	4
Разнотравье	1	22	10	56	63	28	50	13	34
	2	8	9	30	16	15	25	0	26
	3	0	6	4	9	22	21	73	0
Злаки	1	4	4	52	58	38	30	20	42
	2	33	1	2	2	3	2	2	26
	3	4	17	28	32	13	0	40	30
Пр. пл. 5									
Хвоя ели	1	3	7	36	40	10	18	20	25
	2	22	7	27	25	14	41	30	6
	3	6	19	24	29	68	10	0	7
Хвоя пихты	1	3	5	14	38	6	25	15	18
	2	22	5	3	28	0	25	13	24
	3	—	30	67	20	50	21	29	2
Листья березы	1	8	6	30	58	15	15	9	20
	2	—	0	8	28	2	6	1	28
	3	40	23	39	22	22	56	60	13

Окончание табл. 22

Растительный образец	Время разложения, год	Si	Fe	Ca	Mg	P	K	S	N
Листья осины	1	4	10	40	55	30	22	56	29
	2	3	9	4	6	3	5	18	8
	3	43	12	38	29	17	7	6	15
Листья липы	1	10	12	20	45	35	24	20	38
	2	14	3	24	8	15	1	5	21
	3	29	10	35	20	8	8	25	1
Разнотравье	1	3	10	50	56	20	48	24	38
	2	24	2	24	16	32	22	22	24
	3	3	13	16	16	13	26	40	—
Злаки	1	10	10	40	56	48	24	20	30
	2	29	1	17	0	2	0	2	29
	3	20	11	25	36	4	28	43	12

Азот освобождается в большей степени в первый год, замедленнее — во второй и совсем незначительно — в третий (в большинстве случаев). Образцы травяного покрова теряют значительно больше азота (60—71 %) по сравнению с хвоей (38—44 %). В некоторых случаях во второй — третий годы разложения наблюдается увеличение содержания азота, что, вероятно, связано с микробиологическими процессами его иммобилизации.

Четких закономерностей в выщелачивании серы не наблюдается. Можно отметить значительные потери ее из листьев осины — 80 %, причем половина их приходится на первый год.

Медленнее других элементов выносятся кремний и железо. Освобождение их из растительных остатков особенно медленно идет в первый год, в последующие два — значительно быстрее. Самая низкая энергия выноса всех элементов отмечена в травянистой растительности и в листьях (22—31 %), из хвои они выносятся активнее (33—40 %). Кремний, наоборот, быстрее выносится из листьев и травяных образцов (30—50 %) и медленнее — из хвои (17—28 %).

Проведенный опыт позволил установить, что распад растительных остатков во всех биоценозах катены идет с одинаковой интенсивностью. Растительные остатки разных видов растений разлагаются неодинаково, за одно и то же время теряют разные количества химических элементов. Наиболее активны в этом плане растения напочвенного покрова, особенно разнотравье, при разложении которого теряется значительная доля калия и кальция.

Таким образом, выявлены качественные и количественные

различия в поступлении опада на разных участках катены. Скорость разложения опада растений древесного яруса напочвенного покрова определяется их видовым составом, а не положением в катене. Установлены ряды последовательности и скорости выноса элементов в процессе разложения.

3. ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСТИЛКИ

Подстилка — самостоятельное образование лесного биогеоценоза. Современные исследователи [18, 22, 59, 64] отмечают, что только всестороннее изучение свойств подстилки может раскрыть взаимосвязь растительности и почвы и процессы формирования нижележащей почвенной толщи. Это объясняется тем, что подстилка — продукт жизнедеятельности растительности, «кладовая» питательных элементов и источник гумусонакопления лесных почв. Она подразделяется по степени разложения на ряд подгоризонтов, выраженность которых обусловлена характером растительности и условиями разложения опада, типом гумуса и условиями гумусообразования.

Один из важнейших диагностических признаков подстилки — ее мощность и связанные с ней запасы. При этом наиболее предпочтительный признак — запасы подстилки (в единицах массы в расчете на единицу площади). Его показатели варьируют в очень больших пределах и зависят от многих причин: древостоя — его породного состава, возраста, сомкнутости крон; состава и массы напочвенного покрова; гидротермических условий разложения подстилки. В одном типе леса, по наблюдениям Л. О. Карпачевского [26], коэффициент вариации запаса активной фракции подстилки составляет 65 % (без учета площади парцелл, 45 % — с учетом ее).

Ежемесячно (с мая по сентябрь) в течение четырех лет на исследуемых пробных площадях определяли запасы подстилки. Вычисленные средние годовые запасы (из пяти наблюдений в течение сезона) показали значительные колебания (в 1,5—2 раза) в разные годы наблюдений (табл. 23).

Определения запасов подстилки в течение вегетационного периода на пробных площадях методом случайного отбора проб (без обязательной приуроченности к какой-либо парцелле) показали большое варьирование их (см. табл. 23). Разные методики определения подстилок и сроки взятия проб не позволяют с большой точностью сравнивать запасы, вычисленные разными исследователями. Наши определения в течение четырех лет и в продолжение всего вегетационного периода дали возможность вычислить средние запасы подстилки в разных типах леса с большей долей достоверности, чем одноразовые во время максимального или минимального накопления подстилки. Нами выяснено, что запасы подстилок во всех исследуемых типах леса разнятся незначительно: 987 — 1113 — 948 — 958 г/м² (со-

Таблица 23

Запасы подстилки, г/м²

№ пр. пл.	Статистические показатели	Годы наблюдений				Средн. за 4 года
		1981	1982	1983	1984	
		Горизонт АО′				
1	x	482	245	318	198	311
	σ	316	98	110	85	185
	V*	65	40	35	43	59
2	x	388	382	306	216	323
	σ	95	100	199	63	140
	V	25	26	65	29	43
3	x	293	278	269	218	265
	σ	135	88	214	54	123
	V	46	32	79	25	47
5	x	306	329	314	320	317
	σ	27	72	152	159	110
	V	9	22	48	50	35
		Горизонт АО″				
1	x	867	851	527	460	676
	σ	368	150	361	157	313
	V	42	18	68	34	46
2	x	957	601	876	731	791
	σ	554	79	282	302	309
	V	58	13	32	41	39
3	x	897	742	556	538	683
	σ	391	264	224	233	300
	V	43	35	40	43	44
5	x	1007	540	497	521	641
	σ	417	120	155	258	307
	V	41	22	31	49	48
		Горизонт АО				
1	x	1349	1096	845	658	987
	σ	659	183	43	125	427
	V	49	17	5	19	43
2	x	1345	983	1182	947	1113
	σ	634	225	467	269	412
	V	47	23	39	28	37
3	x	1190	1020	825	756	948
	σ	651	341	460	360	460
	V	55	33	57	48	48

Окончание табл. 23

№ пр. пл.	Статистические показатели	Годы наблюдений				Средн. за 4 года
		1981	1982	1983	1984	
5	x	1313	869	811	841	958
	σ	614	199	201	307	319
	V	47	23	25	36	33

* В процентах.

Таблица 24

Поступление химических элементов с древесным (в числителе) и травяным (в знаменателе) опадом за год, г/м²

№ пр. пл.	Si	Al	Fe	Ca	Mg	S	P	K	N	Сумма элементов
1	1,16	0,07	0,41	2,37	0,57	1,00	0,40	0,19	3,39	9,55
	1,75	0,06	0,27	0,69	0,41	0,15	0,48	0,80	2,66	7,27
2	0,86	0,06	0,34	1,75	0,27	0,96	0,29	0,14	2,30	6,97
	1,17	0,68	0,21	0,66	0,36	0,20	0,37	0,56	3,00	7,31
3	0,44	0,08	0,27	2,18	0,30	1,08	0,27	0,15	2,44	7,21
	1,92	0,35	0,20	1,18	0,66	0,20	0,44	0,60	2,86	8,41
5	0,99	0,05	0,27	2,54	0,32	0,76	0,30	0,21	2,47	7,92
	1,11	0,09	0,11	0,49	0,14	0,10	0,22	0,33	1,42	4,01

ответственно номерам пробных площадей). И все-таки максимальные запасы накапливаются в ельнике высокотравно-папоротниковом, минимальные — в ельнике липняковом (разница недостоверна).

При установлении запасов с учетом парцеллярного строения их вариабельность несколько снижается, и становится возможным выявление некоторых закономерностей в накоплении подстилки. В течение лета 1982 г. отбор образцов подстилки проводили только в еловых парцеллах. Отмечено, что запасы подстилки на протяжении мая — сентября изменяются синхронно в ельниках разнотравно-злаковом (пр. пл. 1), высокотравно-папоротниковом (пр. пл. 2) и мелкотравном (пр. пл. 5) с преобладанием их в ельнике разнотравно-злаковом. Наблюдается снижение запасов подстилки от весны к середине лета и резкое увеличение в сентябре во время листопада (рис. 5). В ельнике липняковом (пр. пл. 3) закономерности накопления те же, но с большей амплитудой колебания снижения в августе и последующего накопления.

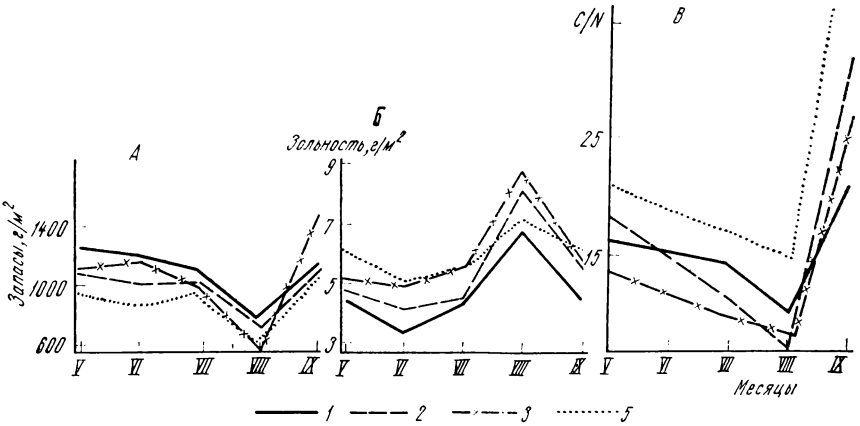


Рис. 5. Динамика свойств подстилки в течение вегетационного периода 1982 г.
А — запасы, *Б* — зольность, *В* — отношение C/N.
1, 2, 3, 5 — номера пробных площадей.

На формирование подстилки помимо древесного опада большое влияние оказывает напочвенный покров. В зависимости от проективного покрытия и видового состава напочвенного покрова он может соперничать в формировании подстилки с опадом древесного яруса. В исследуемых биоценозах масса напочвенного покрова несколько меньше, чем древесного опада. Приведем средние за четыре года наблюдения количества поступления древесного опада и напочвенного покрова (по укосам в период максимального нарастания массы), г/м²:

	№ пр. пл.			
	1	2	3	5
От древесного яруса . . .	259	250	280	236
От травяного яруса	134	128	156	85

Доля участия опада напочвенного покрова наибольшая в ельнике липняковом (пр. пл. 3), наименьшая в ельнике мелкотравном (пр. пл. 5). Однако бóльшая зольность растений напочвенного покрова по сравнению с древесным опадом усиливает влияние первого на процесс формирования свойств подстилки. Поток поступления химических элементов с древесным опадом только на пр. пл. 1 (в 1,2 раза) и пр. пл. 5 (в 1,7 раза) больше, чем с растениями напочвенного покрова. На двух других пробных площадях с напочвенным покровом, напротив, поступает химических элементов больше, чем с опадом (табл. 24). С отмершими травяными растениями повсеместно поступает больше кремния и калия, а с древесным опадом — железа, каль-

Таблица 25

Поступление химических элементов с атмосферными осадками за год, г/м²

№ пр. пл.	Ca	Mg	K	P	S	N	Органические вещества	Минеральные вещества
1	0,82	0,50	0,81	0,02	4,44	6,88	20,15	13,48
2	0,83	0,55	0,93	0,04	5,02	7,47	22,10	14,85
3	0,77	0,50	0,80	0,01	4,40	7,00	20,00	13,48
5	0,80	0,50	0,81	0,02	4,42	7,21	20,50	19,89

ция, серы. Обильное развитие травяного покрова в верхней части катены (на пр. пл. 1—3) способствует значительному поступлению фосфора и магния. С травяным покровом поступает и большое количество азота.

На формирование подстилки, ее химический состав не может не оказывать влияния поток химических элементов, попадающих с атмосферными осадками (дождем и снегом). Естественно, что часть этого потока уносится с поверхностными водами, но бóльшая часть, особенно летних осадков, поступает в подстилку и почвенный профиль. Значительнее всего поступление с атмосферными осадками серы и азота. Попадание с осадками серы в 3,5—4,5 раза превышает ее поступление с растительным опадом, азота — равно биогенному поступлению. Большое количество серы в атмосферных осадках — очевидно, результат выбросов SO_2 в атмосферу, которые составляют около 150 млн т в год, а азота — следствие сжигания топлива (около 50 млн т в год оксидов азота) [63]. В поступлении с осадками существенна доля калия (0,8 г/м²), что в большинстве случаев превышает биогенное поступление, а также кальция (0,8 г/м²) и магния (0,5 г/м²), что значительно дополняет баланс этих элементов. Необходимо отметить, что помимо минеральных соединений с осадками поступает значительное количество органических (20 г/м², табл. 25), что является результатом выброса в атмосферу оксида углерода как естественного (3,5 млрд т в год), так и антропогенного (200—400 млн т в год) происхождения [63].

Влияние атмосферных осадков на биоценоз этим не ограничивается. Как отмечалось в главе 1, жидкие атмосферные осадки, проходя через крону деревьев и растения травяного яруса, существенно меняют свой химический состав: в одних случаях, обогащаясь химическими элементами, в других — теряя их. Все это не может не влиять на формирование подстилки и почв в лесных биоценозах. Так, исследованиями Э. Ф. Ведровой [6] установлено, что на химические свойства подстилок оказывают

Таблица 26

Содержание химических элементов в подстилке, % на абс. сухую навеску

№ пр. пл.	Месяц	Si	Fe	Ca	Mg	S	P	K	N
1	V	0,09	0,23	0,21	0,07	0,09	0,52	0,18	1,62
	VI	0,07	0,06	0,17	0,05	0,07	0,47	0,19	0,65
	VII	0,54	0,18	0,94	0,28	0,11	0,15	0,28	2,11
	VIII	0,69	0,35	1,43	0,30	0,17	0,48	0,33	1,85
	IX	0,42	0,16	1,01	0,14	0,29	0,18	0,12	1,68
2	V	0,08	0,21	0,09	0,02	0,08	0,54	0,19	1,57
	VI	0,19	0,33	0,08	0,04	0,16	0,20	0,34	1,63
	VII	0,19	0,16	0,05	0,04	0,12	0,15	0,40	1,83
	VIII	0,75	0,41	1,78	0,24	0,17	0,53	0,28	1,96
	IX	0,52	0,18	0,14	0,18	0,15	0,15	0,14	2,04
3	V	0,08	0,46	1,35	0,53	0,08	0,30	0,18	1,39
	VI	0,17	0,20	0,09	0,07	0,10	0,15	0,27	1,72
	VII	0,45	0,14	0,05	0,02	0,14	0,18	0,33	2,10
	VIII	0,80	0,47	1,59	0,62	0,20	0,27	0,35	3,00
	IX	0,34	0,03	0,96	0,20	0,76	0,16	0,07	2,01
5	V	0,08	0,21	1,15	0,14	0,08	0,14	0,19	0,97
	VI	0,61	0,22	0,15	0,12	0,16	0,13	0,28	1,31
	VII	0,30	0,18	1,48	0,15	0,13	0,75	0,26	1,70
	VIII	1,31	0,23	1,87	0,25	0,18	0,74	0,29	1,69
	IX	0,58	0,02	1,39	0,58	0,10	1,63	0,11	1,53

существенное влияние органические и минеральные соединения атмосферных осадков, стекающих со стволов и проходящих через кроны деревьев. Растворы, поступающие из подстилки вблизи стволов, содержат этих веществ в 3 раза больше, чем в подстилке под кронами, и в 5 раз больше, чем на открытых участках.

Как отмечалось ранее, минимум накопления подстилки наблюдается в августе. Этому сроку соответствуют наибольшая зольность верхней слаборазложившейся части подстилки (АО′) (см. рис. 5, *Б*) и наибольшее содержание в ней кремния, железа, кальция и магния (табл. 26); закономерностей в накоплении таких элементов, как калий, фосфор, сера, азот, не обнаружено. «Нестабильность поведения» этих элементов объясняется, вероятно, их большим дефицитом за счет поглощения растениями и поступления с атмосферными осадками, особенно серы и азота.

Процесс разложения растительных остатков сопровождается высвобождением элементов, и в первую очередь легкоподвижных водно-растворимых соединений. Один из показателей степени разложения органических остатков — величина отношения

Таблица 27

Содержание водно-растворимых веществ, % от валовых

№ пр. пл.	Месяц	Ca	Mg	P	N	Сумма минеральных веществ
1	V	47,6	32,8	0,6	6,9	6,8
	VI	10,6	18,0	2,2	—	9,1
	VII	8,7	1,8	4,6	4,2	10,5
	VIII	1,6	1,7	0,5	8,7	9,3
	IX	3,4	9,6	4,2	4,0	7,6
2	V	68,9	50,0	0,3	5,9	5,8
	VI	27,5	25,0	5,4	—	3,4
	VII	30,0	10,2	2,7	5,6	10,3
	VIII	1,3	0	0,9	6,2	8,6
	IX	20,0	8,3	1,9	3,6	11,7
3	V	6,2	4,4	0,3	7,5	5,1
	VI	35,5	25,7	9,3	—	10,4
	VII	76,0	38,5	2,4	4,8	10,6
	VIII	4,1	0	1,7	3,8	7,1
	IX	3,0	5,2	0,4	3,3	7,2
5	V	2,3	0	1,0	8,0	5,5
	VI	13,3	9,2	5,5	3,4	6,2
	VII	2,6	2,5	0,6	4,9	6,5
	VIII	0,9	0	0,3	6,3	5,6
	IX	4,5	3,8	0,7	2,8	13,2

C : N, которая характеризует обогащенность азотом гумусовых веществ. Рассчитанная по водно-растворимым соединениям углерода и азота, она наглядно характеризует (см. рис. 5, *В*) изменение состояния подстилки в течение лета. Отношение C : N снижается от весны к середине лета, к августу достигает минимальных значений и вновь резко возрастает в сентябре. В изменении запасов подстилки и отношения C : N в течение лета наблюдается прямая зависимость, тогда как связь всех перечисленных показателей с зольностью обратная, что наиболее ярко проявляется в период максимального разложения подстилки (в августе).

Сопряженный анализ образцов подстилки на валовое содержание элементов и водно-растворимых веществ позволил рассчитать содержание водно-растворимых веществ в процентах от валовых (табл. 27): в водно-растворимые формы переходит 5—13 % от валового содержания. Наибольшие колебания этой величины в течение вегетационного периода зависят от происходящих процессов разложения — от 5,8 до 9,9 % (усредненные данные). Между пробными площадями разница (средние данные за все сроки наблюдения) незначительная — от 7,4 до 8,7 %.

Переход отдельных элементов в водно-растворимые формы при разложении растительных остатков неодинаков. К сожалению, мы располагаем данными только по четырем элементам:

$$\frac{Ca}{18,1} > \frac{Mg}{15,7} > \frac{N}{5,1} > \frac{P}{2,2}.$$

Из приведенного ряда отчетливо видно, что количество водно-растворимых кальция и магния в 3 раза и более превышает содержание азота и в 7—8 раз — фосфора.

В большинстве случаев в период максимальной степени разложения подстилки (в августе) в водно-растворимые формы переходит наименьшее количество кальция, магния, фосфора. Для азота такой закономерности не отмечено. На подвижность кальция и магния в процессе разложения подстилки, очевидно, влияет масса травяного яруса: на пр. пл. 5, где напочвенный покров представлен менее значительно, в водно-растворимые формы переходит существенно меньше кальция и магния.

На интенсивность разложения растительных остатков на исследуемых пробных площадях большое влияние оказывает напочвенный покров. Поступления химических элементов с древесным опадом и опадом напочвенного покрова вполне соизмеримы, а большая скорость прохождения химических элементов через растения травяного яруса приводит к задержке их в гумусовом горизонте.

У исследователей нет единого мнения о том, под пологом какой древесной породы образуется бóльшая масса лесной подстилки. Одни [5, 12, 17] утверждают, что наибольшие запасы подстилок имеются в сосновых лесах, объясняя это бедностью соснового опада зольными элементами и азотом и большим содержанием танина и других дубильных веществ, тормозящих разложение. По наблюдениям других [30], в горных условиях запасы подстилок в сосновых лесах оказались во много раз меньше, чем под ельниками и пихтарниками.

Исследования, проведенные нами в приспевающих сосняках южнотаежной подзоны [59], показали значительно (в 3—5 раз) бóльшие запасы подстилки, чем под еловыми лесами исследуемой нами катены. Состав древостоя сосновых лесов очень однообразен: 10С и 9С1Б, в то время как в наших еловых лесах большая примесь лиственных пород (см. главу 2). В сосновых лесах проводили единовременное определение запасов подстилки в июле — августе, т. е. во время ее максимального разложения и минимальных запасов. Однородность древесного опада, очевидно, порождает очень незначительные колебания в запасах подстилки: при 10-кратной повторности коэффициент изменчивости признака составляет около 10 %. Это незначительная анизотропность запасов подстилки в пределах одного типа леса. На разных же участках катены запасы подстилки меняются

значительно и обнаруживают обратную зависимость с массой напочвенного покрова, г/м² [59]:

Подстилка . .	2960	3290	3510	3660	3790
Напочвенный покров . .	108	106	93	84	53

В заключение можно отметить, что скорость разложения растительных остатков определяется их качеством (видовой принадлежностью и химическим составом) и не зависит от приуроченности к той или иной пробной площади (скорость разложения на всех пробных площадях одинаковая). Скорость разложения подстилок зависит от соотношения ее составляющих: опада листьев, хвои и растений травяного яруса. Наибольшая скорость (исходя из потерь в массе подстилки с мая по август 1962 г.) наблюдается для подстилки ельника липнякового — 48 % (пр. пл. 3), где высокое поступление травяного опада; 37 % своей массы теряет подстилка ельника разнотравно-злакового (пр. пл. 1), 35 % — ельника мелкотравного (пр. пл. 5),— 33 % — ельника высокотравно-папоротникового (пр. пл. 2).

Глава 4

МНОГОЛЕТНЯЯ СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ВОДНО-РАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ КАТЕНЫ

1. ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ В ГОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Годы наблюдений отличались по погодным условиям. Наиболее влажным был 1983 г., годовая сумма осадков составила 643 мм (метеостанция Кузино), т. е. превысила среднемноголетнюю на 130 мм. Три другие года (1981, 1982 и 1984) были близки по годовому количеству осадков: соответственно 437, 442, 438 мм, т. е. несколько ниже (примерно на 70 мм) среднемноголетних показателей. Для каждого года наблюдений, как и в многолетнем цикле, характерно преобладание жидких осадков, на долю которых приходится 70—76 % от общегодовой суммы. Осадки, выпавшие в течение вегетационного периода (с апреля по сентябрь), в сравниваемые годы распределялись следующим образом, мм: 1981 — 304, 1982 — 267, 1983 — 380, 1984 — 220 (табл. 28). Выпадение осадков в вегетационные периоды было неравномерным. В 1981 г. весенние осадки (в апреле) составили около 29 мм, резко (почти вдвое) возросло их количество в мае — июне. Существенная убыль осадков (до 23 мм) наблюдалась в июле, а в сентябре их количество вновь возросло и превысило 100 мм. Весной 1982 г. выпало такое же количество осадков, как и весной 1981 г. Однако в вегетационный период 1982 г. в течение лета и осени их выпало меньше, чем в предшествующий. Отличительной особенностью вегетационного сезона 1983 г. был сильно выраженный июльский максимум осадков при значительном количестве их в мае — июне. В 1984 г. были засушливыми весна и начало лета, в дальнейшем количество осадков возросло и их показатели осенью были близки к таковым 1982 и 1983 г.

Неодинаков и ход температур в сравниваемые годы. Самой холодной была весна 1981 и 1984 гг., когда среднемесячная температура воздуха в апреле была близка к нулю, в то время как в 1982 и 1983 гг. составляла в этот срок 4,8—6,7 °С. Во все сравниваемые годы максимальная температура воздуха наблюдалась в июле. Самым теплым был июль 1981 и 1983 гг.— сред-

Таблица 28

Климатические показатели в годы наблюдений (метеостанция Кузино)

Месяц	Осадки, мм				Температура воздуха, °С			
	1981	1982	1983	1984	1981	1982	1983	1984
Апрель	29	26	23	3	0,2	4,8	6,7	0,7
Май	57	40	58	13	7,6	9,6	7,2	11,6
Июнь	55	42	57	12	17,7	14,4	15,0	15,8
Июль	23	39	105	50	19,5	17,8	18,8	18,6
Август	38	37	58	61	17,9	14,2	16,1	13,7
Сентябрь	102	83	79	81	8,2	10,0	6,9	7,5
Сумма	304	267	380	220				

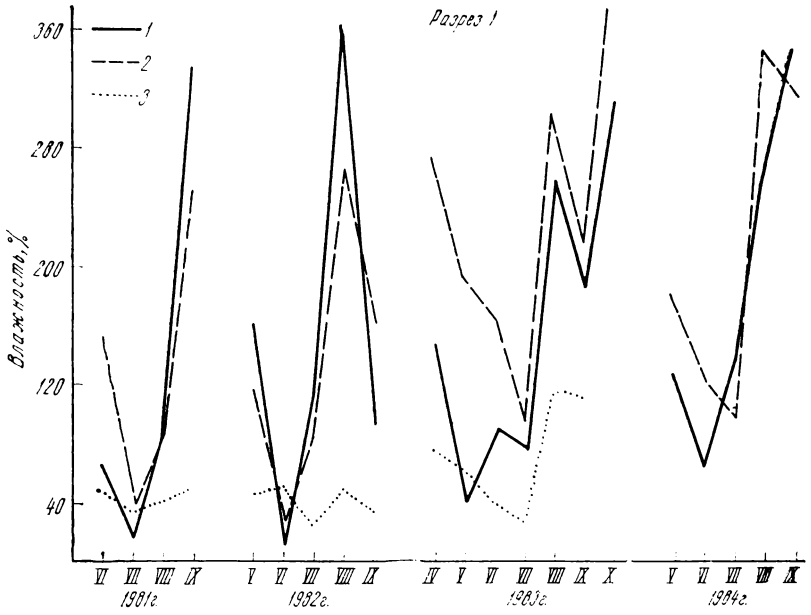
Месяц	Сумма температур, > 10°С			Относительная влажность воздуха, %			
	1982	1983	1984	1981	1982	1983	1984
Апрель	—	215	—	79	66	79	67
Май	294	224	386	68	74	76	55
Июнь	428	451	495	66	72	68	61
Июль	550	583	585	68	86	73	71
Август	442	—	423	76	79	77	85
Сентябрь	307	209	226	90	81	87	88

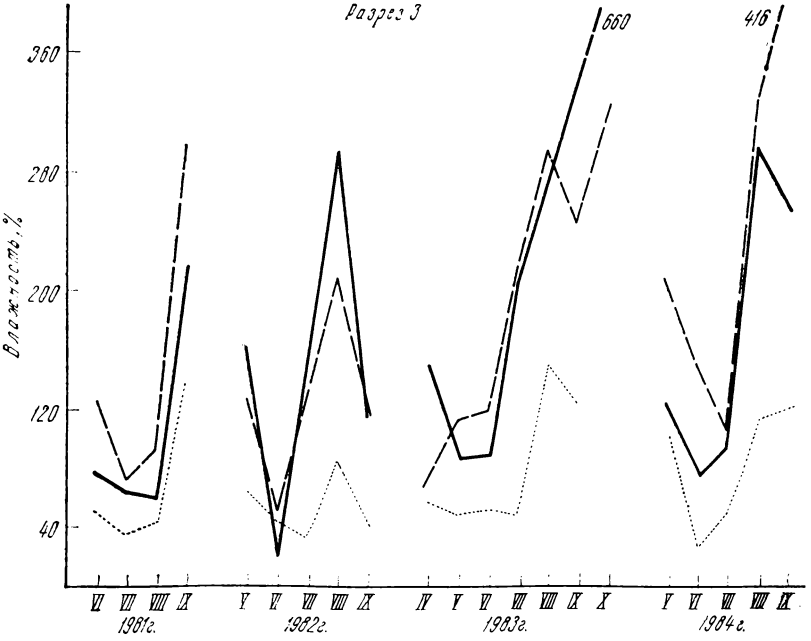
немесячная температура составляла 20 °С, тогда как в другие годы 17—18 °С. Наиболее теплой была осень 1982 г. Данными по сумме температур мы располагаем только для трех лет наблюдений, из них следует, что наиболее теплыми были весна и лето 1984 г. (см. табл. 28), 1983 г. отличался наибольшей суммой весенних и осенних температур воздуха, что должно было повлиять на скорость разложения растительных остатков.

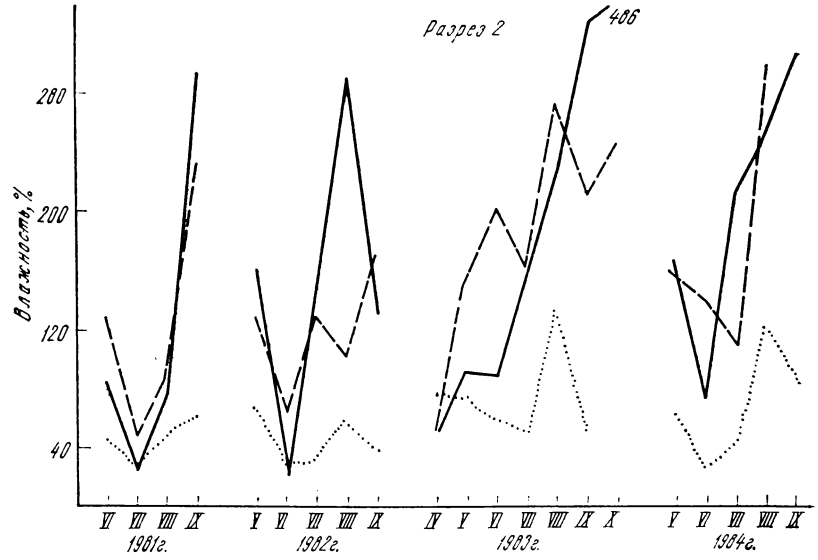
В зависимости от количества осадков и температуры воздуха находится относительная влажность. Наибольших значений она достигала в конце вегетационного периода, особенно в 1981 г. Самая низкая относительная влажность отмечена в мае — июне 1984 г. (см. табл. 28).

Особенности погодных условий определяют динамику многих почвенных показателей и отличия в условиях разложения и миграции продуктов почвообразования.

Водно-температурный режим почв зависит и от положения их в катене, однако мы не располагаем характеризующими его сведениями.


Разрез 1
1
2
3
360
280
200
120
40
Влажность,%
VI VII VIII IX
1981г.
V VI VII VIII IX
1982г.
IV V VI VII VIII IX X
1983г.
V VI VII VIII IX
1984г.


Разрез 3
660
416
360
280
200
120
40
Влажность,%
VI VII VIII IX
1981г.
V VI VII VIII IX
1982г.
IV V VI VII VIII IX X
1983г.
V VI VII VIII IX
1984г.



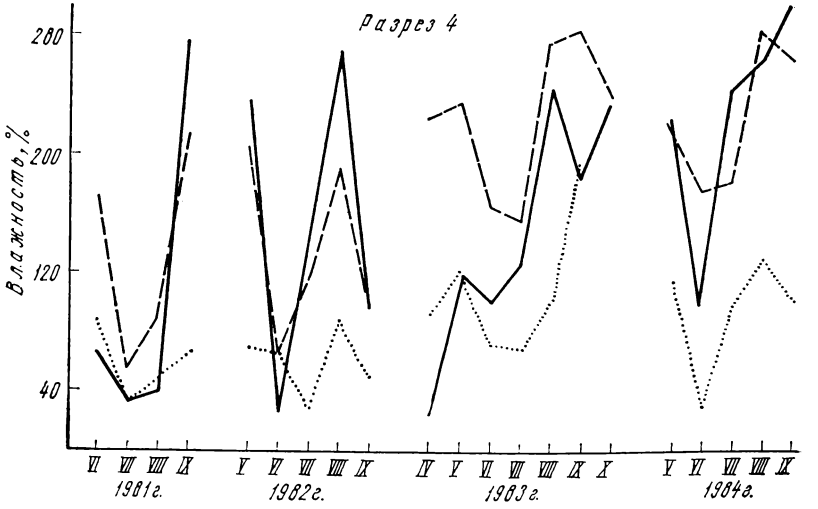


Рис. 6. Динамика влажности почв.
Горизонты: *1* — АО′, *2* — АО″, *3* — А1.

2. ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВ

Определение полевой влажности проводили в пределах верхней части почвенного профиля, до глубины 10 см, что соответствует двум подгоризонтам подстилки (АО′ и АО″) и гумусо-аккумулятивному горизонту (А1). Полученный материал (рис. 6) позволяет выявить отличия в содержании и распределении влаги по профилю в зависимости от погодных условий года и положения почвы в катене, а также свидетельствует о большой динамичности этого показателя. Достаточно сказать, что в течение вегетационного сезона 1981 г. содержание влаги в подстилке изменяется в 20 раз, а в горизонте А1 — до 5 раз. Наблюдения 1981 г. показали также, что наиболее контрастные изменения в содержании влаги происходят в лесной подстилке на вершине увала (пр. пл. 1). В период июльского минимума осадков влажность верхнего слоя подстилки падает до 18 %, против 336 % после обильных осенних дождей (см. рис. 6). Наиболее высокое содержание влаги определено в нижней части подстилки. Только в осенний период влажность уменьшается с глубиной. Гумусовый горизонт характеризуется сравнительной стабильностью содержания влаги. Однако следует заметить, что июльский ее минимум отмечен и в этом горизонте. Последующее в августе повышение влаги в подстилке не сопровождалось, вследствие небольшого количества осадков, увеличением ее в гумусовом горизонте. Только после обильных осенних дождей влажность возросла до 50 %.

Для почвы верхней части склона (пр. пл. 2, см. рис. 6) описанная закономерность сезонных изменений содержания влаги в целом сохраняется, с тем лишь отличием, что абсолютные значения показателей влажности, как правило, выше. Однако в отдельные годы и сроки влажность в биоценозе этой части катены меньше, чем на вершине увала (например, в сентябре 1981 г.). Вероятнее всего, обусловлено это временем отбора проб на влажность — сразу после выпадения осадков, когда еще не произошло перераспределение влаги. Кроме того, процессы склоновой и внутрипрофильной миграции влаги здесь в какой-то степени могут маскироваться за счет меньшего поступления на поверхность подстилки осадков, сильнее удерживаемых кронами темнохвойных деревьев, а также хорошо развитым папоротниковым напочвенным покровом. Судя по высокому содержанию влаги в нижнем слое подстилки и особенно в гумусовом горизонте средней части склона (пр. пл. 3, см. рис. 6), накопление влаги здесь выражено интенсивнее, чем в почве пробной площади, расположенной выше по рельефу. Очевидно, это обусловлено дополнительным поступлением влаги боковым внутрипочвенным стоком с верхних элементов рельефа. Верхняя часть почвенного профиля подножия склона (пр. пл. 5, см. рис. 6) оказалась менее влажной, чем почва средней части. По-видимо-

му, выклинивание влаги происходит на уступах, расположенных выше этой пробной площади, и поэтому ее водный режим формируется «автоморфно» или, во всяком случае, при незначительном влиянии дополнительного притока влаги с более высоких участков катены.

Итак, для вегетационного сезона 1981 г. характерны июльский минимум и сентябрьский максимум влажности изученных почв. Более стабильны показатели влажности почв в гумусовом горизонте (особенно на вершине и в верхней части склона увала), они здесь наименьшие в течение всего сезона. Наиболее значительные колебания влажности в течение вегетационного периода 1981 г. в верхнем слое подстилки наблюдались в почве вершины увала.

В ранневесенний срок наблюдения в 1982 г. большим содержанием влаги отличался верхний слой подстилки, особенно на подножии склона. В связи с малым количеством осадков, выпавших в начале лета, резко выраженный минимум влаги в пределах всей исследованной толщи наблюдался в июне. В этот период содержание влаги в верхней части подстилки падало до 14 % на вершине увала и до 26 % на подножии склона. Сильно (более чем в 10 раз) возросла влажность в августе — она была наибольшей в сезоне и приближалась по абсолютным значениям к осенним показателям 1981 г. Необходимо подчеркнуть, что наметившееся в июле повышение влажности подстилки не затронуло гумусового горизонта: в этот период содержание влаги в нем было наименьшим. Выпавших в июне — июле дождей оказалось недостаточно для повышения влажности гумусового горизонта. Напротив, продолжалось иссушение гумусового горизонта почвы, несмотря на значительный рост влажности подстилки на всех пробных площадях. Максимальных значений по всему профилю достигало содержание влаги в августе 1982 г. В сентябре этого года влажность почв резко уменьшилась. Кроме того, осенью выявилось более четкое различие между разными частями катены. Если в верхней ее части (пр. пл. 1 и 2) наибольшее содержание влаги определено в нижнем слое подстилки, то на нижних элементах рельефа — в обоих слоях, т. е. перераспределение влаги между слоями подстилки в первом случае выражено контрастнее, чем во втором. В гумусовом горизонте в этот срок наблюдения содержание влаги было ниже, чем в предшествующий.

В 1983 г. с его наиболее влажным вегетационным периодом резко возросло содержание влаги, особенно в полуразложившейся подстилке и гумусовом горизонте. Если в предшествующий сухой вегетационный период влажность верхнего слоя подстилки падала до 14 % (пр. пл. 1, июнь), то в рассматриваемом году минимальное содержание влаги здесь составляло 40 % (в мае). Выпадение обильных июльских дождей сопровождалось резким повышением влаги в августе в пределах всей изу-

Таблица 29

Амплитуда колебания влажности, %

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений				Средн. за четыре года
		1981	1982	1983	1984	
1	АО′	318	348	210	277	288
	АО″	206	238	205	145	198
	А1	13	14	86	73	46
2	АО′	267	268	278	235	262
	АО″	179	128	216	188	178
	А1	32	39	81	76	57
3	АО′	155	269	257	221	225
	АО″	226	152	221	308	227
	А1	101	51	72	92	79
5	АО′	243	241	218	201	225
	АО″	156	123	127	108	128
	А1	56	56	53	91	65

ченной части профиля. Наблюдавшаяся в дальнейшем (в сентябре) миграция влаги проявилась неодинаково в разных частях катены. На вершине увала влажность верхнего слоя подстилки уменьшилась по сравнению с предшествующим сроком, а в расположенных ниже участках катены (пр. пл. 2 и 3) — возросла. Почва подножия склона (пр. пл. 5), вопреки нашим предположениям, оказалась близкой по закономерностям сезонных изменений влажности к почвам не нижних элементов рельефа, а вершины увала, отличаясь от последней более высоким содержанием влаги. Это еще раз подтверждает отсутствие строгой сопряженности водного режима почв подножия склона и верхней катены. Несмотря на очень низкое количество весенних осадков, в 1984 г. во всех изученных почвах поддерживалась высокая влажность. Этому, очевидно, способствовало обилие осадков, выпавших в предшествующий вегетационный период, благодаря чему почва под зиму ушла насыщенной влагой, о чем можно судить по данным наблюдений в октябре 1983 г. Поздно наступившее в 1984 г. снеготаяние также способствовало поддержанию влажности почв на высоком уровне в начале вегетации. Минимальные показатели влажности наблюдались в июне, а максимальные — преимущественно в августе.

Подводя итог рассмотрению динамики влажности верхней части профиля сравниваемых почв, можно сделать следующие выводы.

1. Наименьшее количество влаги удерживается в верхнем

слое подстилки на вершине увала (пр. пл. 1), где, по средним показателям четырех лет наблюдений, оно составляет 148 % при 159—154 % в остальных частях катены.

2. В верхней части катены отмечена более широкая амплитуда колебаний влажности — разница между максимальным и минимальным показателями в сезоне (табл. 29). Величина ее (по средним показателям четырех лет) составляет здесь 288—262 % (пр. пл. 1 и 2) против 225 % в нижней части (пр. пл. 3 и 5).

3. Содержание влаги в гумусовом горизонте закономерно возрастает вниз по катене. Этот горизонт характеризуется и наименьшими в профиле амплитудами колебания влажности, величина которой в нижней части катены больше, чем в верхней.

4. Наименьшая амплитуда колебания влаги наблюдалась на пр. пл. 1 и 2 в 1981—1982 гг., а в расположенных ниже участках — в 1982—1983 гг. Более динамичны показатели влаги по годам в почве вершины увала. Достаточно сказать, что здесь средние показатели амплитуды различаются в 6 раз, тогда как на участках, расположенных ниже,— в 2,5—2 раза.

5. Максимальное количество влаги в пределах обследованной почвенной толщи содержится в наиболее разложившейся части подстилки.

3. ДИНАМИКА pH

Изучение динамики pH водной в катене проводили в те же сроки, что и других показателей. Из полученных данных (табл. 30) видно, что кислотность почв, как правило, увеличивалась от верхних горизонтов к нижним. Однако эта закономерность в зависимости от сезонных ритмов биоклиматических условий и положения почв в катене часто нарушалась.

В почве верхней части катены (пр. пл. 1) наименьшая кислотность в 1981 г. отмечена в июньский срок наблюдения. Можно предположить, что в связи с небольшим количеством весенних осадков часть зольных элементов, поступивших на поверхность почвы осенью, не была выщелочена, что благоприятствовало частичной нейтрализации кислых продуктов почвообразования. Кроме того, в это время в связи с резким повышением температуры воздуха активизировались процессы минерализации органических остатков, частично разложившихся осенью, и высвобождались щелочно-земельные основания. Максимум кислотности в этот вегетационный период приходился на июль, но выражен он только в подстилке, тогда как в A1 наблюдалось уменьшение кислотности, очевидно, как результат миграции с обильными июньскими дождями усредненных продуктов почвообразования. Новое осеннее поступление растительного опада сопровождалось уменьшением кислотности подстилки при одновременном подкислении среды в горизонтах AO″ и A1. В это менее благоприятное для разложения растительных остат-

Таблица 30

Динамика pH в почвах еловых биоценозов

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений								
		1981				1982				
		VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
1	АО′	5,8	4,9	5,2	5,3	5,3	4,6	4,8	4,5	5,3
	АО″	5,5	4,7	5,3	4,8	5,3	4,1	4,7	5,0	5,0
	А1	5,3	5,4	5,1	4,1	5,3	3,8	4,5	4,6	4,8
2	АО′	5,7	5,2	5,7	5,5	5,6	4,5	5,3	5,5	5,5
	АО″	5,7	5,4	5,3	4,9	5,4	4,2	4,9	5,4	5,2
	А1	5,6	4,9	4,7	4,3	5,5	4,2	5,7	5,3	5,2
3	АО′	5,4	5,3	5,9	5,7	5,4	4,4	5,6	6,1	5,5
	АО″	5,4	5,4	6,0	5,3	5,4	4,4	5,5	6,0	4,8
	А1	5,4	4,8	5,6	4,9	5,8	4,7	5,3	5,9	5,3
5	АО′	5,4	5,1	5,3	5,3	5,5	4,6	4,9	5,3	5,4
	АО″	5,2	4,8	5,2	5,6	5,6	4,8	4,7	5,2	5,4
	А1	5,4	4,9	4,9	4,9	5,7	4,9	4,9	5,3	5,5

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений											
		1983						1984					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	АО′	5,2	5,2	5,8	5,4	5,2	5,4	5,1	4,6	5,1	5,2	6,0	5,2
	АО″	5,2	5,3	4,8	4,9	5,1	4,9	4,1	4,4	4,9	5,1	5,7	5,0
	А1	4,8	4,7	4,7	4,6	5,0	4,5	4,5	3,8	4,6	4,8	5,0	4,7
2	АО′	5,8	5,8	6,2	5,8	5,9	5,7	5,8	5,5	5,3	5,5	5,6	5,5
	АО″	6,0	5,7	5,5	5,5	5,9	5,6	5,7	4,9	5,0	5,0	5,6	5,3
	А1	5,3	5,4	5,0	4,8	5,5	4,9	5,0	4,2	5,0	4,0	5,0	5,0
3	АО′	5,7	5,5	5,5	6,3	6,1	6,2	5,9	5,4	5,7	5,5	5,9	5,0
	АО″	6,1	5,6	5,3	6,1	6,3	6,0	6,1	5,0	5,6	5,8	5,5	5,5
	А1	5,7	5,6	5,3	4,8	5,9	5,7	5,7	4,5	5,8	5,0	5,4	5,3
5	АО′	5,7	5,6	5,5	5,9	6,2	5,6	6,0	5,0	5,6	5,2	5,7	5,4
	АО″	5,9	5,5	5,6	5,6	6,2	5,4	5,7	4,7	5,7	5,2	5,7	5,4
	А1	5,8	5,4	5,6	5,2	5,8	5,0	5,2	4,1	5,9	4,8	5,7	5,2

ков время происходило лишь незначительное их превращение, преимущественно вымывание наиболее мобильных органических кислот. Кроме того, на этой стадии разложения опада в нем недостает оснований для «усреднения» большого количества продуцируемых органических кислот и они вымываются в нижележащие горизонты, подкисляя их.

Ход изменения кислотности по срокам наблюдения в 1982 г. в целом был почти таким же, как в предыдущем сезоне. Минимум кислотности в АО′ также приходился на весенний и осенний периоды. Судя по наименьшей кислотности не только в АО′, но во всей исследованной толще, более благоприятные условия для нейтрализации кислых продуктов разложения растительных остатков складывались в мае. В указанном году почвы в пределах исследованной части профиля характеризовались более высокой кислотностью, чем в предыдущем. Общим для рассматриваемых вегетационных периодов был отчетливо выраженный летний максимум кислотности. В вегетационный период 1983 г. pH изменялась в АО′ от 5,8 до 5,2; в АО″ — от 5,2 до 4,9 и в А1 — от 4,5 до 5,0, т. е. амплитуда ее колебаний была у́же, чем в два предшествующих года. Здесь преимущественно выражен весенне-раннелетний минимум кислотности, и только в А1 — летний (август). Сезон 1984 г. характеризовался одним осенним минимумом кислотности, а ее максимум наблюдался в мае — июне. Обильные летние и осенние осадки, выпавшие в 1983 г., обусловили высокую кислотность почв весной и в начале лета 1984 г.

В почве расположенного ниже участка катены (пр. пл. 2) отмечена в целом та же закономерность сезонных изменений pH, что и на пр. пл. 1. Однако в отличие от нее рассматриваемая почва характеризовалась, во-первых, меньшей амплитудой колебания pH как по горизонтам, так и по годам (табл. 31). Примечательно, что амплитуда сезонного колебания pH в горизонте А1 обеих пробных площадей выше, чем в подстилке. Во-вторых, в отдельные годы не совпадали по срокам или проявлялись в разной степени максимумы и минимумы кислотности. Например, на пр. пл. 2 в августе 1987 г. более отчетливо, чем на расположенной выше пробной площади, были выражены минимумы кислотности: один июньский (как и на пр. пл. 1), другой августовский; осенью здесь происходило подкисление почвы, тогда как на пр. пл. 1 — подщелачивание.

В почве нижней части склона (пр. пл. 3) по сравнению с почвами рассмотренных выше пробных площадей минимум кислотности сдвинут на август, и только в 1984 г. наблюдался весенний минимум. В этот вегетационный период самые высокие показатели pH определены осенью только в почве вершины увала (пр. пл. 1). Максимумы кислотности в почвах нижней части склона и других сравниваемых площадей совпадали и приходились на июнь — июль.

Таблица 31

Амплитуда колебания pH в почвах катены

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений			
		1981	1982	1983	1984
1	АО′	0,3	0,8	0,6	1,4
	АО″	0,8	1,2	0,5	1,3
	А1	1,3	1,5	0,5	1,2
	Средн. *	1,0	1,1	0,5	1,3
2	АО′	0,5	1,1	0,5	0,5
	АО″	0,8	1,2	0,5	0,7
	А1	1,3	1,5	0,7	0,8
	Средн.	0,8	1,3	0,5	0,7
3	АО′	0,6	1,7	0,8	0,5
	АО″	0,7	1,6	0,7	0,6
	А1	0,8	1,2	1,1	0,9
	Средн.	0,7	1,8	0,8	0,6
5	АО′	0,2	0,8	0,7	0,8
	АО″	0,4	0,9	0,8	1,0
	А1	0,5	0,8	0,8	1,8
	Средн.	0,4	0,8	0,8	1,2

* В слое — 0—10 см.

В почве подножия склона (пр. пл. 5) в зависимости от погодных условий минимум кислотности наблюдался либо в конце, либо в начале вегетационного периода. Максимум ее в большинстве случаев приходился на июнь, и только в наиболее влажный 1983 г.— на осень. Заметим, что на этой пробной площади, подобно пр. пл. 2 и 3, в вегетационный период 1984 г. отмечены два максимума кислотности — в июне и августе. Последующее понижение ее (в июле) было особенно значительным в гумусовом горизонте. Важно при этом отметить, что в почвах нижних частей катены по сравнению с верхними уменьшается разница между показателями pH по горизонтам. Независимо от положения почвы в катене pH возрастает в более влажные годы (1983—1984).

Таким образом, почвы рассматриваемой катены различаются по реакции среды, что обусловлено неодинаковыми микроклиматическими условиями, характером поступления, превращения и миграции веществ. Судя по наибольшим сезонным и погодичным амплитудам колебания pH и более значительным разли-

чиям между ее показателями по горизонтам, наиболее контрастные условия почвообразования складываются на вершине увала.

4. ВОДНО-РАСТВОРИМЫЕ ВЕЩЕСТВА

Изучение водно-растворимых веществ (ВРВ) представляет большой интерес в связи с их особой ролью в питании растений и в почвообразовании. Основным источником ВРВ в почвах является опад лесных биоценозов, формирующий лесную подстилку. Поэтому преимущественное внимание в наших исследованиях уделялось изучению динамики ВРВ в верхних аккумулятивных почвенных горизонтах, а именно: в подстилке разной степени разложения и в гумусовом горизонте, непосредственно залегающем под ней.

На основе четырехлетних наблюдений получены материалы, позволяющие сопоставить сезонную и погодичную динамику ВРВ на участках катены, значительно различающихся по составу древесного и травянистого опада, а также особенностям водного и температурного режимов. Все это оказывает влияние на ритм и темпы разложения и накопления органического вещества и особенности мобилизации питательных элементов.

Изучение динамики ВРВ, характеризуемой величиной сухого остатка (табл. 32), показало, что содержание ВРВ, их сезонные изменения определялись прежде всего свойствами генетического горизонта. Независимо от срока наблюдений содержание ВРВ закономерно уменьшалось вниз по профилю. Наибольшим накоплением ВРВ отличался верхний слой слаборазложившейся подстилки. Их количество здесь в среднем в 1,5—2 раза больше, чем в нижележащем слое. В отдельные сроки наблюдения и годы (например, в 1984 г., следующем за влажным 1983 г.) разница в содержании ВРВ между этими слоями подстилки сглаживалась, а иногда, преимущественно весной, когда опад не поступает на поверхность почвы, наблюдалось более высокое их содержание не в верхнем, а в нижнем слое подстилки (за счет их вымывания). В гумусовом горизонте значительно меньше по сравнению с подстилкой ВРВ. Содержание их по сезонам тоже колебалось: максимум приходился на самый теплый период года (июль — август), когда создаются оптимальные условия для их разложения и мобилизации.

Количество ВРВ подвержено значительным колебаниям по годам в зависимости не только от генетического горизонта, но и от положения почвы в катене. В верхней части катены (вершина увала, разрез 1) наиболее благоприятные условия для накопления ВРВ были в 1981 г. В последующие годы их количество убывало и достигло минимума в самый влажный 1983 г. Причем в условиях элювиального ландшафта вынос ВРВ охва-

Таблица 32

Динамика сухого остатка, % на абс. сухую навеску

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений										
		1981					1982					
		VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон	V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон
1	АО′	1,23	2,57	2,53	1,31	1,66	0,39	1,33	1,44	2,00	1,65	1,36
	АО″	0,85	1,16	0,80	0,70	0,88	0,86	0,49	1,12	0,88	0,82	0,83
	А1	0,33	0,30	0,11	0,18	0,23	0,15	0,24	0,14	0,09	0,12	0,15
2	АО′	1,16	1,73	1,07	1,14	1,27	1,08	1,23	2,40	1,73	1,68	1,62
	АО″	0,64	0,90	0,89	0,82	0,81	0,70	0,61	1,01	0,61	0,75	0,74
	А1	0,18	0,17	0,28	0,18	0,20	0,13	0,18	0,23	0,17	0,14	0,17
3	АО′	1,69	2,31	0,99	1,29	1,57	0,94	2,00	1,09	1,49	1,72	1,45
	АО″	0,49	1,94	0,48	1,23	1,03	0,64	0,60	0,70	0,58	0,68	0,64
	А1	0,20	0,14	0,30	0,14	0,19	0,13	0,16	0,11	0,17	0,07	0,13
5	АО′	1,01	2,17	0,97	1,35	1,37	1,25	1,18	0,92	1,25	2,36	1,39
	АО″	1,19	0,69	0,42	0,62	0,73	0,58	0,51	0,77	0,29	0,38	0,51
	А1	0,26	0,11	0,07	0,15	0,15	0,08	0,15	0,16	0,13	0,07	0,12

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений											
		1983							1984					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон	V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон
1	АО′	1,16	0,81	1,00	0,86	1,28	0,75	0,98	1,22	1,22	1,64	1,65	1,00	1,34
	АО″	0,65	0,87	1,21	0,62	0,79	0,47	0,77	0,92	0,76	1,58	1,33	1,06	1,13
	А1	0,12	0,21	0,22	0,11	0,20	0,19	0,17	0,05	0,05	0,45	0,37	0,15	0,21
2	АО′	0,54	1,13	0,88	2,87	1,72	2,88	1,67	0,84	1,32	2,00	1,53	0,97	1,33
	АО″	1,44	1,28	1,14	0,73	1,15	1,13	1,14	0,49	0,75	1,11	1,74	0,97	1,01
	А1	0,44	0,19	0,17	1,01	0,14	0,15	0,35	0,04	0,09	0,14	0,25	0,14	0,13
3	АО′	1,64	1,18	1,28	4,04	0,93	0,92	1,66	1,53	1,60	1,76	2,55	0,54	1,60
	АО″	0,44	0,81	2,06	0,56	1,22	0,25	0,89	0,78	0,36	0,81	2,34	1,57	1,17
	А1	0,14	0,13	0,16	1,00	0,15	0,11	0,28	0,15	0,11	0,17	0,32	0,18	0,19
5	АО′	3,17	1,07	1,23	1,00	0,88	1,62	1,49	1,47	1,50	2,17	1,77	1,47	1,67
	АО″	1,58	1,25	0,94	0,49	0,61	1,05	0,99	0,77	0,50	0,97	1,12	0,37	0,75
	А1	0,02	0,20	0,16	0,17	0,56	0,36	0,14	0,09	0,15	0,23	0,73	0,27	0,29

тывал всю исследованную толщу. Напротив, в трансаккумулятивных геохимически сопряженных ландшафтах (в верхней и средней частях того же склона) в этот год содержалось наибольшее количество ВРВ во всех генетических горизонтах. В 1984 г. ВРВ накапливались в подстилке вершины увала, тогда как на расположенных ниже участках катены (разрезы 2 и 3) их было меньше, чем в предыдущем году. Очевидно, осадков, выпадающих в 1984 г., было недостаточно, чтобы обеспечить миграцию веществ за пределы почвенного профиля. Поскольку расположенные ниже участки не получали дополнительного притока ВРВ, то имевший здесь место их вынос не компенсировался поступлением и наблюдалась некоторая их убыль, особенно в верхней части склона (разрез 2). Почва нижней части склона (разрез 5) в наиболее сухие годы отличалась минимальным среди сравниваемых почв содержанием ВРВ. Только во влажный 1983 и следующий за ним 1984 гг. их количество увеличилось и даже оказалось наибольшим. Таким образом, в аккумулятивные ландшафты поступление веществ с расположенных выше геохимически сопряженных ландшафтов происходило лишь в экстремально влажные и следующие за ними годы. В засушливые годы они формировались автономно с доминированием элювиальных процессов в пределах рассматриваемой почвенной толщи. В сезонном цикле динамики ВРВ в этих местоположениях отмечалось их высокое содержание в подстилке, часто превышающее количество в подстилках других частей катены.

Изучение динамики прокаленного остатка, характеризующего объем образующихся водно-растворимых минеральных веществ (ВРМВ), позволило выявить некоторые отличительные особенности сравниваемых почв. Наибольшая величина прокаленного остатка, подобно количеству сухого, была отмечена в верхней части лесной подстилки. С глубиной она в одни сроки наблюдения убывала резко, а в другие сравнительно постепенно (табл. 33). Минимальное содержание ВРМВ определено в гумусовом горизонте. Согласно данным 1981 г., в верхнем слое подстилки всех изученных почв наблюдалось два максимума содержания ВРМВ — июльский и сентябрьский. В нижнем слое подстилки и особенно в гумусовом горизонте отчетливо выражен лишь осенний максимум. Погодные условия 1982 г. определили преимущественное накопление ВРМВ в августе и только в подстилке елового биоценоза нижней трети склона — в сентябре. Следует при этом заметить, что в этот засушливый год, судя по средним показателям за вегетационный сезон, разница между почвами разных частей катены сглажена. Большое разнообразие условий для накопления и миграции ВРМВ складывалось в самый влажный 1983 г. наблюдений. Судя по усредненным данным, катена отчетливо разделялась на две части: верхнюю (разрезы 1 и 2), характеризующуюся низким содержанием

Таблица 33

Динамика ВРМВ (прокаленного остатка), % на абс. сухую навеску

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений												
		1981						1982						
		VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон	% прокал. остатка от сухого (средн. за сезон)	V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон	% прокал. остатка от сухого (средн. за сезон)
1	АО′	—	0,48	0,37	0,39	0,41	39	0,31	0,32	0,47	0,65	0,35	0,42	38
	АО″	0,01	0,16	0,36	0,28	0,20	25	0,19	0,10	0,38	0,22	0,19	0,22	25
	А1	0,01	0,01	0,03	0,07	0,03	18	0,06	0,07	0,06	0,07	0,03	0,06	44
2	АО′	0,13	0,38	0,21	0,31	0,26	20	0,28	0,14	0,59	0,71	0,65	0,47	35
	АО″	0,01	0,06	0,19	0,30	0,14	16	0,34	0,16	0,37	0,23	0,11	0,24	32
	А1	0,01	0,01	0,09	0,14	0,08	30	0,08	0,05	0,29	0,11	0,08	0,12	54
3	АО′	0,28	0,60	0,24	0,57	0,42	28	0,26	0,52	0,59	0,63	0,40	0,48	35
	АО″	0,04	0,17	0,15	0,36	0,18	19	0,13	0,13	0,16	0,24	0,11	0,15	25
	А1	0,01	0,01	0,13	0,07	0,05	26	0,07	0,05	0,05	0,09	0,03	0,06	45
5	АО′	0,07	0,41	0,17	0,56	0,30	21	0,34	0,32	0,36	0,40	0,81	0,45	32
	АО″	0,01	0,03	0,09	0,31	0,11	19	0,15	0,13	0,22	0,17	0,06	0,15	31
	А1	0,04	0,01	0,03	0,11	0,05	35	0,05	0,04	0,14	0,07	0,03	0,07	55

Окончание табл. 33

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений														
		1983								1984						
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон	% прокал. остатка от сухого (средн. за сезон)	V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон	% прокал. остатка от сухого (средн. за сезон)
1	АО′	0,01	0,09	0,14	0,13	0,18	0,30	0,14	12	0,19	0,40	0,30	0,35	0,32	0,31	27
	АО″	0,01	0,27	0,12	0,08	0,16	0,04	0,11	14	—	0,14	0,32	0,35	0,08	0,45	15
	А1	0,01	—	0,01	0,08	0,05	0,04	0,04	24	—	0,02	0,04	0,06	0,02	0,14	21
2	АО′	0,01	0,32	0,08	0,36	0,04	0,22	0,17	13	0,14	0,36	0,55	0,43	0,18	0,33	23
	АО″	1,13	0,28	0,01	0,09	0,60	0,20	0,38	23	0,11	0,15	0,17	0,54	0,23	0,24	23
	А1	0,27	—	0,01	0,04	0,02	0,04	0,11	21	—	0,03	0,01	0,06	0,03	0,03	22
3	АО′	0,40	0,13	0,24	—	0,18	0,28	—	17	0,36	0,50	0,46	0,60	0,07	0,40	22
	АО″	0,09	0,06	0,27	0,12	0,15	0,03	0,12	14	0,17	0,08	0,21	0,72	0,66	0,37	20
	А1	0,05	—	0,04	0,01	0,01	0,08	0,08	17	0,05	0,04	0,05	0,18	0,02	0,07	39
5	АО′	—	0,22	0,05	0,16	0,32	0,52	0,69	33	0,33	0,32	0,41	0,36	0,17	0,32	19
	АО″	1,09	0,41	0,32	0,10	0,05	0,14	0,35	35	0,13	0,16	0,27	0,26	0,22	0,21	21
	А1	—	0,12	0,01	0,01	0,01	0,06	0,04	18	—	0,05	0,09	0,09	0,04	0,07	25

ВРМВ, и нижнюю (разрезы 3 и 5) — с более высоким их количеством.

Особенно отчетливо эта разница ощущалась ранней весной и осенью, когда содержание ВРМВ в почве нижней трети склона становилось наибольшим. Очевидно, именно в это время складывались самые благоприятные условия для поверхностного стока влаги, содержащей в своем составе минеральные вещества, не только вымытые из подстилок верхних элементов рельефа, но и поступающие непосредственно с осадками (см. главу 1). Подтверждением этому служит и то обстоятельство, что в экстремально влажный 1983 г. наблюдалось сильное выщелачивание ВРВ из почвы вершины увала. В засушливые и близкие по среднемноголетним климатическим показателям годы в этих местоположениях ВРВ аккумулируются в верхних горизонтах. Их накопление отчетливо выражено и в следующем за влажным годом 1984 г. Интересно при этом отметить, что в наиболее теплый период (июль — август) этого вегетационного сезона, как и в другие, сглаживалась разница в содержании ВРМВ между верхней и нижней частями подстилки. В подстилке лесных биоценозов верхней и средней частей склона в нижнем слое количество ВРМВ больше, чем в неразложившейся ее части (пр. пл. 2 и 3, см. табл. 33), чего практически не наблюдалось в другие годы. Таким образом, новообразование веществ в верхнем слое подстилки не компенсировалось их выносом. В такие периоды наблюдается накопление ВРМВ в нижней части подстилки. Эта закономерность сохраняется и в сентябре, но преимущественно в подстилках биоценозов нижних элементов рельефа.

В заключение рассмотрим соотношение между суммой ВРВ (сухой остаток) и количеством минеральных веществ (прокаленный остаток), оцениваемое процентным содержанием последнего относительно сухого остатка. К сожалению, получить отчетливую картину сезонных изменений этого показателя не удалось, поэтому мы воспользовались для сравнения среднегодовыми величинами по всем срокам наблюдения. Как видно из приведенных данных (см. табл. 33), максимальное количество минеральных веществ отмечено в наиболее сухие годы (1982 и 1981). Судя по более высокому процентному участию прокаленного остатка в составе сухого, можно предположить, что особенно глубоко шло преобразование (разложение и минерализация) растительных остатков, формирующих подстилку ельника разнотравно-злакового, на вершине увала и менее интенсивно — в ельнике мелкотравном нижней трети склона. Во влажный 1983 г. резко уменьшилась доля участия минеральных веществ относительно общей суммы ВРВ. Исключение представляла лишь почва нижней трети склона, где происходило накопление минеральных веществ, вымытых из почв более высоких местоположений.

5. ВОДНО-РАСТВОРИМЫЕ КАЛЬЦИЙ И МАГНИЙ

Роль щелочно-земельных оснований в нейтрализации почвенной кислотности, закреплении гумусовых веществ и формировании почвенного плодородия общеизвестна. Содержание их водно-растворимых форм в зависимости от экологических условий накопления и разложения органических остатков подвержено значительным колебаниям, что подтверждается и полученными нами данными (табл. 34). Наблюдения, проведенные в вегетационный период 1981 г., показали, что большое количество осадков (более 100 мм), выпавших в мае — июне, обусловило выщелачивание кальция и магния за пределы обследованной части почвенного профиля. Некоторым исключением являлась лишь почва нижней трети склона, где обнаружено накопление кальция и магния в слое АО″, очевидно, из-за затрудненного в этих условиях дренажа, а возможно, и за счет частичного закрепления оснований, мигрирующих из верхних элементов рельефа. В следующий, июльский срок наблюдения, несмотря на резкое уменьшение количества осадков, не отмечено увеличения содержания кальция и магния в верхнем слое подстилки, в связи с их вымыванием в нижележащие горизонты. Судя по более высокому содержанию щелочно-земельных оснований в АО″ и А1, в почве вершины увала (разрез 1) нисходящая миграция веществ выражена лучше, чем в почвах других участков катены. Необходимо отметить, однако, что в июле и августе, когда интенсивны процессы трансформации растительных остатков, особенно в условиях хорошей аэрации в сильно хрящеватой почве вершины увала, высвобождение и закрепление кальция и магния шло активно в обоих подгоризонтах подстилки и они были близки по содержанию этих элементов (разрез 1). В целом для вегетационного периода 1981 г. характерен осенний максимум суммарного количества кальция и магния, поступающих на поверхность почвы с опадом.

Засушливая весна 1982 г. создавала благоприятные условия для накопления водно-растворимых кальция и магния. Больше всего их было в почве вершины увала. От верхних к нижним частям катены количество оснований в подстилках закономерно уменьшалось. Только в биоценозе нижней трети склона содержание этих элементов увеличивалось в полуразложившемся ее слое. Очевидно, в засушливые периоды в почвах верхней части катены доминировали процессы аккумуляции, и лишь в нижней ее части была возможна нисходящая миграция веществ. Она затруднена в условиях избыточного увлажнения, о чем можно судить по данным, полученным в осенний срок наблюдения. В этот период резко выражена разница в содержании суммы кальция и магния между верхним и нижним слоями подстилки при наибольшем по сравнению с другими участками их количестве в АО′. Для рассматриваемого вегетационного периода ха-

Таблица 34

Содержание суммы водно-растворимых кальция и магния, мг·экв/100 г абс. сухой почвы

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений								
		1981				1982				
		VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
1	АО′	1,06	0,75	1,05	1,75	5,15	1,64	2,44	1,48	3,92
	АО″	0	0,69	1,06	0,56	1,74	0,71	0,92	1,17	0,85
	А1	0	0,11	0,12	0,06	0	0,26	0,18	0	0,12
2	АО′	0,58	0,80	1,10	1,49	3,09	1,88	1,39	1,38	4,18
	АО″	0	0,36	0,30	0,79	1,35	1,11	0,85	0,85	0,80
	А1	0	0,05	0,24	0,19	0	0,15	0,03	0,05	0
3	АО′	1,12	0,78	0,63	1,76	4,18	3,08	3,15	1,76	3,09
	АО″	0	0,55	0,31	1,58	0,88	1,11	0,75	0,96	0,76
	А1	0	0,05	0,22	0,28	0	0,12	0,09	0	0
5	АО′	1,06	1,28	0,33	1,20	2,70	2,52	2,58	0,95	6,99
	АО″	0,43	0,25	0,45	0,75	1,83	1,68	0,87	0,75	0,52
	А1	0	0	0,12	0,20	0	0,06	0,05	0,10	0

№ разреза	Горизонт	Годы наблюдений										
		1983						1984				
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
1	АО′	1,77	1,91	1,81	1,41	1,14	1,38	2,52	2,54	3,78	4,06	2,09
	АО″	1,17	1,12	0,21	0,05	1,00	0,52	1,98	1,26	3,35	4,26	1,28
	А1	0,21	0,14	0,06	1,03	0,26	0,07	0	0,04	0,41	1,14	0,08
2	АО′	1,33	1,92	1,66	5,40	0,99	3,75	4,21	2,80	4,24	2,81	2,38
	АО″	0,76	1,03	1,20	2,09	0	2,23	1,61	1,71	3,26	3,17	2,56
	А1	0,21	0,14	0	0,67	0,20	0,18	0	0,15	0,35	0,62	0,13
3	АО′	5,16	4,61	1,96	4,88	1,53	2,30	6,05	3,50	5,92	6,12	1,28
	АО″	0,81	0,88	2,09	2,07	2,18	0,28	2,66	1,33	2,99	4,91	6,40
	А1	0,18	0,13	0	0,36	0,39	0,26	0	0,35	0,70	0,42	0,92
5	АО′	5,91	5,08	3,17	2,55	1,92	1,80	5,84	4,43	9,30	4,64	2,76
	АО″	1,55	1,74	1,27	1,12	1,20	0,92	2,54	1,32	4,18	3,07	2,68
	А1	0,23	0,15	0	0,47	0,24	0,50	0	0,21	0,87	0,82	0,44

рактерен преимущественно весенний максимум водно-растворимых форм щелочно-земельных оснований, при значительном их количестве в осенний срок наблюдения.

В избыточно влажном 1983 г. характер сезонных изменений содержания оснований был иной. Кроме того, более четко выражены различия между почвами разных частей катены. В течение первых трех месяцев наблюдения в почве вершины увала и верхней части склона происходило выщелачивание оснований, и количество их в эти сроки было значительно ниже, чем в почвах аккумулятивных позиций. Кроме того, в последних отчетливо выражен весенний максимум содержания кальция и магния, тогда как в расположенных выше биоценозах — летне-осенний. После обильных июльских дождей (около 100 мм) в почве вершины увала (разрез 1) наблюдались убыль водно-растворимых оснований в верхнем слое подстилки и значительное накопление в гумусовом горизонте (1,03 мг·экв/100 г почвы в этот срок наблюдения против 0,07—0,26 — в другие, см. табл. 34). Подобная закономерность прослежена и в почве верхней части склона (разрез 2), с тем лишь отличием, что в ней происходит накопление оснований в верхнем слое подстилки, превышающее их содержание в предшествующие сроки наблюдения. По-видимому, нельзя исключать в этих условиях возможность поступления веществ поверхностным стоком. Он отмечен и в почве верхней части склона (разрез 3), но не достигает нижней его части, поэтому количество оснований здесь меньше, чем в почвах верхних элементов рельефа. Более того, судя по низкому содержанию кальция и магния в этот срок наблюдения по сравнению с предшествующими, можно предположить, что здесь происходили элювиальные процессы, которые активизировались осенью. Таким образом, влажный год характеризовался выраженной внутрипрофильной и поверхностной миграцией веществ и незначительным осенним их накоплением. С засушливой весной 1984 г. связано более высокое содержание кальция и магния в начале лета по сравнению с осенью предшествующего года, что наблюдалось также засушливой весной 1982 г. В дальнейшем происходило увеличение содержания этих элементов, достигшее максимума в июле — августе. Высокие их показатели определены в почвах нижних элементов рельефа. Осенью, несмотря на поступление с опадом кальция и магния, их накопления в почвах всех сравниваемых биоценозов не наблюдалось, очевидно, в связи с обилием выпавших в это время осадков.

Полученные данные обнаруживают довольно тесную зависимость содержания в почве водно-растворимых кальция и магния от количества осадков. Тем не менее в июле, когда складывается температурный режим, интенсивно идут процессы разложения, а следовательно, больше высвобождается кальция и магния и происходит их значительное накопление в почвах.

Таким образом, динамика водно-растворимых оснований

определяется комплексом условий и их различиями в разных частях катены.

6. СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕРОДА

Живое вещество как высокоорганизованная система соединений углерода, кислорода, водорода и азота определяет функционирование биосферы и поддерживает почвенное плодородие. В среднем живое вещество суши в расчете на сухую массу содержит 40—50 % углерода. Почва и ее органическое вещество — постоянный источник углекислоты для питания и роста растений. Все это обусловливает необходимость изучения сезонной и погодичной динамики углерода в лесных биоценозах. Велика роль углекислоты в выветривании горных пород и геохимической миграции веществ.

Водно-растворимый углерод, как и следовало ожидать, концентрируется в слаборазложившейся (АО′) части лесной подстилки. Его содержание здесь в целом подвержено сравнительно небольшим колебаниям по сезонам и годам. Следует заметить, однако, что в изученных почвах прослеживалась тенденция высокого накопления углерода в засушливые годы по сравнению с влажными. Больше его содержалось в слаборазложившейся части подстилки в самый теплый (июль — август), оптимальный для разложения органического вещества, период года. Как правило, наименьшее содержание углерода наблюдалось в весенний или раннелетний период. Кроме того, в засушливые годы более высокое содержание углерода отмечено в подстилке лесных биоценозов верхних частей катены, а во влажные — наоборот. В гумусовом горизонте содержание водно-растворимого углерода резко уменьшилось, но в основном сохранились те же закономерности его сезонных изменений. Этот горизонт отличался заметным увеличением содержания углерода в осенний срок наблюдения по сравнению с предшествующим при одновременном уменьшении его количества в подстилке, особенно в элювиальном (разрез 1) и трансаккумулятивном ландшафтах (разрез 2).

Анализируя полученные данные по динамике углерода, рассмотрим средние показатели его содержания в слое 0—10 см на разных участках катены по годам (табл. 35). Проведенные подсчеты показывают, что в вегетационный период 1981 г. средние величины содержания углерода в слое 0—10 см колебались от 0,55 до 1,03 %, тогда как в нижней трети склона составляли 0,27—0,87 %. Во все сроки наблюдения наименьшее содержание углерода отмечено в июне, а наибольшее — в июле. В 1982 г. максимум содержания углерода также наблюдался в верхней части катены и только осенью оно было меньше, чем в ниже расположенных участках. Вегетационный период 1983 г. контрастно отличался от предшествующих тем, что практически во все сроки

Таблица 35

Динамика водно-растворимого углерода, % на абс. сухую навеску

№ разреза	Горизонт	1981 г.				Средн. за сезон
		VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	1,05	1,50	1,60	1,66	1,45
	АО″	0,48	1,04	0,84	0,85	0,85
	А1	0,12	0,55	0,10	0,25	0,25
	0—10 см	0,55	1,03	0,81	0,99	0,84
2	АО′	0,98	1,50	1,40	1,33	1,32
	АО″	0,39	0,63	0,72	1,05	0,70
	А1	0,04	0,17	0,12	0,18	0,13
	0—10 см	0,47	0,77	0,76	0,85	0,71
3	АО′	1,09	1,89		1,19	1,28
	АО″	0,31	1,19	0,46	1,35	0,83
	А1	0,03	0,18	0,08	0,55	0,21
	0—10 см	0,48	1,09	0,27	1,03	0,71
5	АО′	0,53	1,50	1,60	1,54	1,29
	АО″	0,24	0,97	0,65	0,78	0,66
	А1	0,02	0,15	0,06	0,15	0,09
	0—10 см	0,27	0,87	0,77	0,82	0,68

№ разреза	Горизонт	1982 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	1,82	0,74	1,27	1,66	1,48	1,39
	АО″	1,48	0,55	1,17	0,88	0,96	1,00
	А1	0,31	0,33	0,21	0,09	0,16	0,22
	0—10 см	1,20	0,54	0,88	0,88	0,87	0,87
2	АО′	1,64	0,58	1,14	0,82	2,20	1,28
	АО″	0,84	0,87	0,95	0,47	0,99	0,82
	А1	0,31	0,10	0,09	0,06	0,17	0,15
	0—10 см	0,93	0,51	0,73	0,45	1,12	0,74

Продолжение табл. 35

№ разреза	Горизонт	1982 г.					
		V	VI	VII	VIII	IX	Средн. за сезон
3	АО′	1,35	0,83	0,89	0,90	1,55	1,10
	АО″	1,10	0,54	0,70	0,43	0,87	0,73
	А1	0,16	0,09	0,11	0,02	0,21	1,18
	0—10 см	0,87	0,49	0,57	0,45	0,88	0,65
5	АО′	1,68	0,84	1,35	1,43	1,80	1,42
	АО″	1,08	0,58	0,66	0,66	0,85	0,76
	А1	0,24	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12
	0—10 см	1,00	0,50	0,70	0,73	0,92	0,77

№ разреза	Горизонт	1983 г.						Средн. за сезон
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,93	0,97	1,15	1,51	1,12	0,89	1,09
	АО″	0,91	0,91	0,75	1,15	1,01	0,54	0,88
	А1	0,29	0,14	0,08	0,15	0,33	0,46	0,24
	0—10 см	0,71	0,67	0,66	0,89	0,82	0,33	0,68
2	АО′	0,75	1,31	0,79	1,43	0,87	1,47	1,10
	АО″	0,40	0,81	0,65	1,11	0,75	0,84	0,76
	А1	0,17	0,17	0,09	0,22	0,80	0,24	0,29
	0—10 см	0,44	0,76	0,51	0,92	0,81	0,85	0,71
3	АО′	2,00	1,26	1,06	1,59	1,31	1,05	1,37
	АО″	0,47	0,94	0,72	0,94	1,07	0,54	0,78
	А1	0,06	0,13	0,07	0,42	0,45	0,17	0,22
	0—10 см	0,84	0,78	0,62	0,98	0,94	0,59	0,79
5	АО′	1,79	1,52	1,50	1,14	0,91	0,90	1,29
	АО″	0,72	1,03	0,70	0,69	0,63	0,89	0,78
	А1	0,12	0,21	0,09	0,21	0,14	0,32	0,18
	0—10 см	0,87	0,92	0,76	0,68	0,56	0,70	0,75

Окончание табл. 35

№ разреза	Горизонт	1984 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	1,02	0,99	0,99	1,19	1,22	1,07
	АО″	0,35	0,58	1,05	1,39	1,05	0,88
	А1	0	0,06	0,18	0,25	0,18	0,13
	0—10 см	0,46	0,52	0,74	0,94	0,82	0,70
2	АО′	1,04	0,87	1,28	0,94	0,64	0,95
	АО″	0,10	0,64	0,76	0,76	0,64	0,58
	А1	0,14	0,06	0,18	0,18	0,24	0,16
	0—10 см	0,43	0,52	0,74	0,63	0,51	0,56
3	АО′	1,06	0,96	1,28	1,37	0,47	1,03
	АО″	0,86	0,35	0,70	1,19	0,70	0,76
	А1	0,20	0,06	0,12	0,12	0,12	0,12
	0—10 см	0,71	0,46	0,70	0,89	0,43	0,64
5	АО′	1,01	0,93	1,34	1,15	1,34	1,15
	АО″	0,67	0,29	0,53	0,59	0,53	0,52
	А1	0,33	0,06	0,18	0,24	0,12	0,19
	0—10 см	0,67	0,43	0,68	0,66	0,66	0,48

наблюдения более высокое содержание углерода отмечалось в почвах нижней части склона, особенно осенью. Эта закономерность была отчетливо выражена весной следующего вегетационного периода, а в дальнейшем в 10-сантиметровой толще почвы в верхней части катены содержалось больше углерода, чем в нижней. Таким образом, в верхней части катены доминировали гумусо-аккумулятивные процессы и только во влажные периоды наблюдалось вымывание водно-растворимого углерода, как и других элементов, и накопление его в расположенных ниже участках катены.

7. ВОДНО-РАСТВОРИМЫЙ АЗОТ

Водно-растворимый азот представлен в изученных почвах в небольшом количестве. Его содержание по годам колеблется незначительно (табл. 36). Не установлено различий в его накоп-

Таблица 36

Динамика водно-растворимого азота в еловых биоценозах, % на абс. сухую навеску

№ разреза	Горизонт	1981 г.				Средн. за сезон
		VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,13	0,14	0,04	0,13	0,11
	АО″	0,08	0,10	0,02	0,10	0,07
	А1	0,04	0,07	0,01	0,03	0,04
	0—10см	0,08	0,10	0,02	0,09	0,07
2	АО′	0,14	0,09	0,02	0,01	0,07
	АО″	0,07	0,08	0,02	0,10	0,07
	А1	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02
	0—10см	0,07	0,07	0,02	0,06	0,05
3	АО′	0,12	0,23	0,02	0,01	0,09
	АО″	0,04	0,10	0,02	0,01	0,04
	А1	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02
	0—10см	0,06	0,12	0,02	0,01	0,05
5	АО′	0,10	0,09	0,04	0,01	0,06
	АО″	0,05	0,08	0,02	0,01	0,04
	А1	0,09	0,03	0,01	0,03	0,04
	0—10см	0,03	0,07	0,02	0,02	0,05

№ разреза	Горизонт	1982 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,11	0	0,09	0,16	0,07	0,09
	АО″	0,08	0,06	0,08	0,12	0,07	0,08
	А1	0,03	0,05	0,04	0,06	0,02	0,04
	0—10см	0,07	0,04	0,07	0,11	0,05	0,07
2	АО′	0,09	0	0,10	0,12	0,07	0,08
	АО″	0,08	0,03	0,09	0,10	0,06	0,07
	А1	0,03	0,03	0,02	0,06	0,02	0,03
	0—10см	0,07	0,02	0,07	0,09	0,05	0,06
3	АО′	0,10	0	0,10	0,11	0,06	0,07
	АО″	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
	А1	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02	0,03
	0—10см	0,07	0,03	0,07	0,09	0,05	0,06
5	АО′	0,08	0,04	0,08	0,10	0,04	0,07
	АО″	0,06	0,06	0,07	0,09	0,04	0,06
	А1	0,02	0,03	0,02	0,07	0,01	0,03
	0—10см	0,05	0,04	0,06	0,09	0,03	0,05

Окончание табл. 36

№ разреза	Горизонт	1983 г.						Средн. за сезон
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,09	0,04	0,11	0,08	0,07	0,08	0,08
	АО″	0,11	0,07	0,08	0,06	0,07	0,05	0,07
	А1	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02
	0—10см	0,08	0,04	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06
2	АО′	0,05	0,06	0,08	0,08	0,05	0,10	0,07
	АО″	0,05	0,07	0,10	0,04	0,03	0,06	0,06
	А1	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02
	0—10см	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,06	0,05
3	АО′	0,11	0,06	0,08	0,09	0,07	0,00	0,08
	АО″	0,05	0,06	0,06	0,08	0,06	0,07	0,06
	А1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,10	0,03	0,03
	0—10см	0,06	0,04	0,05	0,06	0,08	0,06	0,06
5	АО′	0,10	0,05	0,07	0,05	0,05	0,03	0,06
	АО″	0,07	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05
	А1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
	0—10см	0,06	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04

№ разреза	Горизонт	1984 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,10	0,04	0,08	0,12	0,08	0,08
	АО″	0,07	0,09	0,06	0,15	0,07	0,09
	А1	—	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04
	0—10см	—	0,06	0,06	0,10	0,06	0,07
2	АО′	—	0,04	0,12	0,09	0,08	0,08
	АО″	0,11	0,10	0,07	0,07	0,07	0,08
	А1	0,07	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
	0—10см	—	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06
3	АО′	0,10	0,08	0	0,13	0,07	0,08
	АО″	0,13	0,12	0,07	0,09	0,10	0,10
	А1	0,09	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
	0—10см	0,11	0,07	0,03	0,08	0,07	0,07
5	АО′	0,13	0,03	0,03	0,12	0,09	0,08
	АО″	0,07	0,03	0,05	0,06	0,09	0,09
	А1	0,14	0,01	0,03	0,03	0,03	0,05
	0—10см	0,11	0,02	0,07	0,07	0,06	0,06

лении в подстилках и почвах разных частей катены. Полученные данные позволили, однако, выявить некоторые сезонные изменения и установить закономерное уменьшение азота с глубиной.

Отметим, что в отличие от углерода, разница в содержании азота между верхним и нижним слоями подстилки незначительна. Наибольшее накопление его происходит в оптимальных для разложения органических остатков условиях, которые в разные годы соответствовали неодинаковым срокам. Так, в 1981 г. наибольшее накопление азота наблюдалось в июле. В августе его количество резко убывало и вновь возрастало в сентябре в почвах верхней части катены, а в нижней ее части продолжало уменьшаться. В 1982 г. максимум содержания азота приходился на август, а осенью его количество сокращалось. В 1983 г. больше всего азота отмечено в июле, в дальнейшем количество его в почве снижалось. В 1984 г., следующем за избыточно влажным, сказывались очень сложные для поступления и миграции азота экологические условия. Более высокое его содержание в гумусовом горизонте, куда он поступал после снеготаяния и весенних осадков, обнаружено в мае, тогда как в верхней части подстилки — преимущественно в августе.

Таким образом, в противоположность углероду, осенью не наблюдалось накопления азота в почвах, сглажена разница в его содержании между верхним и нижним слоями подстилки, а в наиболее влажные годы отмечено превышение его количества в нижнем слое подстилки относительно верхнего.

8. ВОДНО-РАСТВОРИМЫЙ КАЛИЙ

Как показали проведенные исследования (табл. 37), максимум содержания водно-растворимого калия обнаружен в почвах всех обследованных биоценозов в наименее влажном 1981 г. Минимум его содержания в этом году, как правило, соответствовал июньскому сроку наблюдения, и только ельник высокотравно-папоротниковый верхней трети склона отличался высоким содержанием калия, что обусловлено не только особенностями напочвенного покрова, богатого калием, но и возможностью поступления его с растворами, мигрирующими с верхних элементов рельефа. В июле, когда количество осадков было минимальным, произошло увеличение содержания калия, а в августе, по мере резкого нарастания объема осадков, его содержание падало.

Несмотря на обильные осадки, выпавшие в сентябре, максимальное содержание калия наблюдалось именно в этот срок за счет биологического поступления с опадом, превышающего его вынос. Тем не менее, исходя из полученных данных, можно констатировать частичную внутрипрофильную миграцию калия, когда количество его в АО″ превышало содержание в АО′ по

Таблица 37

Динамика водно-растворимого калия (K^+) в почвах еловых биоценозов, мг·экв/100 г почвы

№ разреза	Горизонт	1981 г.				Средн. за сезон
		VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	2,81	4,23	2,94	8,63	4,83
	АО″	1,88	10,74	1,47	3,08	4,30
	А1	0,70	1,34	0,52	0,59	0,79
	Средн. в слое 0—10 см	2,06	5,41	1,65	4,10	3,30
2	АО′	6,71	6,54	1,41	7,60	5,56
	АО″	7,65	5,58	1,37	9,39	6,01
	А1	1,66	1,21	0,35	2,18	1,35
	В слое 0—10 см	5,34	4,45	1,05	6,39	4,31
3	АО′	4,45	9,14	3,62	6,76	5,99
	АО″	1,43	4,32	1,70	13,48	5,24
	А1	0,97	1,68	1,06	4,23	4,99
	В слое 0—10 см	2,29	5,05	2,13	8,16	4,40
5	АО′	2,53	6,39	3,59	12,80	6,39
	АО″	1,87	2,67	2,37	8,06	3,75
	А1	1,27	1,80	1,24	2,87	1,80
	В слое 0—10 см	1,83	3,62	2,40	7,91	3,94

№ разреза	Горизонт	1983 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,31	1,02	1,12	1,00	1,10	0,91
	АО″	0,28	1,08	0,00	0,41	0,41	0,42
	А1	0,03	0,23	0,03	0,13	0,13	0,11
	Средн. в слое 0—10 см	0,21	0,77	0,38	0,51	0,51	0,47
2	АО′	0,65	2,46	0,03	0,51	3,17	1,36
	АО″	0,50	1,92	0,00	0,46	1,02	0,78
	А1	0,03	0,18	0,10	0,12	0,10	0,11
	В слое 0—10 см	0,39	1,52	0,04	0,36	1,43	0,74
3	АО′	0,45	2,55	4,04	1,07	1,95	2,00
	АО″	0,30	2,33	0,92	3,58	0,26	1,48
	А1	0,05	0,14	0,13	0,31	0,02	0,13
	В слое 0—10 см	0,27	1,67	1,71	1,65	0,75	1,21
5	АО′	0,41	2,77	2,15	13,96	1,23	1,23
	АО″	0,34	1,69	0,38	0,28	0,77	0,77
	А1	0,04	0,09	0,00	0,13	0,20	0,05
	В слое 0—10 см	0,26	1,52	0,84	4,79	0,74	0,28

Окончание табл. 37

№ разреза	Горизонт	1984 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,46	2,44	0,72	3,36	0,72	1,54
	АО″	0,41	1,08	0,46	2,58	0,68	1,04
	А1	0,05	0,05	0,02	0,33	0,03	0,09
	Средн. в слое 0—10 см	0,30	1,19	0,40	2,09	0,48	0,87
2	АО′	0,54	3,38	1,30	3,47	1,16	1,97
	АО″	0,43	1,61	0,30	2,30	1,11	1,15
	А1	0,04	0,10	0,01	0,19	0,07	0,05
	В слое 0—10 см	0,34	1,70	0,54	1,99	0,78	1,07
3	АО′	0,71	3,80	1,0	4,60	0,86	2,19
	АО″	0,56	0,96	0,32	2,85	0,54	1,05
	А1	0,11	0,11	0,06	0,30	0,04	0,12
	В слое 0—10 см	0,46	1,62	0,46	2,58	0,48	1,12
5	АО′	0,51	2,39	0,98	2,95	2,25	1,15
	АО″	0,29	0,67	0,48	1,56	0,15	0,63
	А1	0,05	0,11	0,13	0,26	0,02	0,11
	В слое 0—10 см	0,28	1,05	0,53	1,59	0,81	0,85

сравнению с предшествующим сроком. Сильно возрастало содержание калия в А1, особенно в нижних частях катены. Согласно средним показателям за сезон, можно сделать вывод, что содержание калия в верхней, неразложившейся части подстилки возрастает в биоценозах нижней части катены. В полуразложившемся слое подстилки меньше всего содержится калия в биоценозе нижней трети склона, очевидно, в результате его вымывания из этих позиций. В связи с хорошей фильтрационной способностью почв вершины увала, заметное уменьшение содержания калия по сравнению с другими частями катены происходит и из горизонта А1. В целом калия в гумусовом горизонте содержится больше в почвах нижней части катены. В 1983 и 1984 гг. содержание калия резко уменьшилось. Очевидно, погодные условия влажных лет создают более контрастную обстановку по сравнению с засушливыми годами для накопления и миграции водно-растворимого калия, благодаря чему в вегетационные периоды этих лет не выражена строгая закономерность сезонных изменений его содержания.

В 1983 г., в отличие от предыдущего, осенний максимум содержания калия практически не выражен, а в 1984 г. он повсеместно наблюдался в августе.

Таблица 38

Динамика HPO_4^{--} в почвах еловых биоценозов, мг·экв на абс. сухую навеску

№ разреза	Горизонт	1981 г.				Средн. за сезон
		VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	1,63	1,47	0,55	0,61	1,07
	АО″	0,86	0,88	0,09	0,33	0,54
	А1	0,41	0,11	0,13	0,05	0,18
	Средн. В слое 0—10 см	0,97	0,82	0,25	0,33	0,59
2	АО′	1,50	1,05	0,29	0,48	0,83
	АО″	0,94	0,18	0,23	0,35	0,42
	А1	0,36	0,06	0,07	0,04	0,14
	В слое 0—10 см	0,94	0,43	0,20	0,29	0,47
3	АО′	1,53	1,21	0,19	0,30	0,81
	АО″	0,69	0,38	0,14	0,23	0,36
	А1	0,35	0,04	0,07	0,07	0,56
	В слое 0—10 см	0,83	0,54	0,13	0,20	0,43
5	АО′	1,96	0,16	0,69	0,22	0,56
	АО″	0,73	0,12	0,09	0,21	0,29
	А1	0,23	0,03	0,10	0,07	0,11
	В слое 0—10 см	0,72	0,10	0,29	0,17	0,32

№ разреза	Горизонт	1982 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,19	0,67	0,50	0,169	0,48	0,40
	АО″	0,15	0,29	0,37	0,10	0,13	0,21
	А1	0	0,04	0,04	0	0,01	0,02
	В слое 0—10 см	0,11	0,33	0,14	0,09	0,21	0,18
2	АО′	0,09	0,69	0,25	0,30	0,18	0,25
	АО″	0,06	0,31	0,11	0,08	0,05	0,10
	А1	0	0,01	0,01	0	0	0
	В слое 0—10 см	0,05	0,34	0,14	0,13	0,08	0,15
3	АО′	0,05	0,89	0,27	0,30	0,04	0,31
	АО″	0,05	0,02	0,14	0	0,02	0,04
	А1	0	0	0,02	0,03	0	0,01
	В слое 0—10 см	0,03	0,30	0,15	0,11	0,02	0,12

Продолжение табл. 38

№ разреза	Горизонт	1982 г.					Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	IX	
5	АО′	0,04	0,46	0,15	0,21	0,69	0,32
	АО″	0,02	0,06	0,14	0,05	0,05	0,06
	А1	0	0	0	0	0,01	0
	В слое 0—10 см	0,04	0,17	0,10	0,08	0,25	0,29

№ разреза	Горизонт	1983 г.						Средн. за сезон
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	
1	АО′	0,19	0,37	0,31	0	0	0	0,14
	АО″	0	0,12	0,18	0	0	0	0,05
	А1	0	0	0,03	0	0	0	0,01
	В слое 0—10 см	0,06	0,12	0,18	0	0	0	0,06
2	АО′	0,05	0,27	0,21	0	0	0,01	0,09
	АО″	0	0,10	0,11	0	0	0	0,04
	А1	0	0	0	0	0	0	0
	В слое 0—10 см	0,02	0,12	0,11	0	0	0	0,04
3	АО′	1,64	0,18	0,45	0	0	0	0,38
	АО″	0	0,18	0,83	0	0	0	0,17
	А1	0	0	0	0	0	0	0
	В слое 0—10 см	0,54	0,13	0,43	0	0	0	0,18
5	АО′	0,03	0,18	0,12	0	0	0,01	0,05
	АО″	0	0	0	0	0	0	0
	А1	0	0	0	0	0	0	0
	В слое 0—10 см	0,01	0,06	0,04	0	0	0	0,02

№ разреза	Горизонт	1984 г.				Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	
1	АО′	0,04	0,67	0,63	0,04	0,34
	АО″	0	0,28	0,51	0,03	0,20
	А1	0	0,03	0,05	0,02	0,02
	В слое 0—10 см	0,01	0,33	0,40	0,03	0,19
2	АО′	0,08	0,68	0,64	0,07	0,37
	АО″	0	0,20	0,51	0	0,17
	А1	0	0,02	0,04	0	0,01
	В слое 0—10 см	0,03	0,30	0,40	0,02	0,18

Окончание табл. 38

№ разреза	Горизонт	1984 г.				Средн. за сезон
		V	VI	VII	VIII	
3	АО′	0,19	0,09	0,60	0,03	0,22
	АО″	0	0,10	0,11	0	0,05
	А1	0	0,01	0,03	0	0,01
	В слое 0—10 см	0,06	0,06	0,25	0,01	0,09
5	АО′	0,13	0,41	0,56	0,07	0,29
	АО″	0	0,11	0,26	0	0,09
	А1	0	0,01	0,03	0	0,01
	В слое 0—10 см	0,04	0,18	0,28	0,02	0,13

Говоря о зависимости содержания калия от экологических условий, следует заметить, что в рассматриваемые вегетационные периоды оно закономерно увеличилось от верхней половины катены к нижней.

9. ДИНАМИКА HPO_4^{--}

В динамике водно-растворимого фосфора (HPO_4^{--}) в почвах еловых биоценозов (табл. 38) обнаружена иная по сравнению с калием закономерность сезонных изменений. В вегетационный период 1981 г. больше фосфора в почвах содержалось не осенью, а в летнее время (в июне — июле). Эта картина сохранилась и в последующие годы. Таким образом, фосфор в отличие от калия преимущественно накапливался в первой половине лета. Резко убывало его количество во влажные годы, в отдельные сроки наблюдения фосфор в почвах не обнаружен.

Кроме того, если в распределении калия наблюдалось увеличение его содержания от верхних частей катены к нижним, то количество фосфора в этом направлении уменьшалось. Все это дает основание считать, что содержание фосфора в почвах сравниваемых биоценозов не только значительно ниже, чем калия, но и более ощутимо уменьшалось по мере нарастания влажности.

Глава 5

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВ

1. СРЕДНИЕ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Окислительно-восстановительные (ОВ) и щелочно-кислотные условия являются основными геохимическими параметрами почв, определяющими направление и интенсивность трансформации ее органических и минеральных составляющих, типы химических и биохимических реакций, устойчивость, подвижность и, в конечном счете, судьбу вторичных продуктов почвообразования. Наиболее распространенный способ характеристики окислительно-восстановительных условий — потенциометрическое определение величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) — E_h и анализ его сезонной динамики.

В природных средах с участием воды граничные величины E_h обусловлены пределами ее восстановления — окисления. Так, при pH 7 нижней границе устойчивости воды соответствует потенциал —500 мВ, верхней — +250 мВ. По мере увеличения кислотности эти значения соответственно возрастают [66].

Разработана детальная классификация ОВ-условий в почвах, в основе которой лежит поиск «граничных значений ОВП» [47—49], согласно которой потенциал хорошо аэрированных почв составляет 600—800 мВ. Величина редоксипоказателя таких почв равна 28—34 [49, 68]. Рубеж перехода от сугубо окислительных условий к восстановительным определяется потенциалом 400 мВ ($rH_2 = 27$). При более низких значениях показателей в почве развиваются восстановительные процессы, а при величине E_h менее 200 мВ ($rH_2 = 20$) появляются признаки глееобразования. В [67] предложено три предела ОВ-условий в почвах (при pH 7) : E_h выше 400 мВ — окисленные, 100—400 мВ — умеренно-восстановленные, 100—300 мВ — сильно восстановленные. Но необходимо учитывать, что формальное применение классификации «граничных состояний» к почвам, отличающимся по генезису и свойствам, может привести к ошибочным выводам. Величина смешанного потенциала, которую характеризует E_h, определяется соотношением активности окислительных и восстановленных состояний элементов, набор которых специфичен для каждой почвы. Так, при нейтральной

реакции почвенных растворов нитраты восстанавливаются при E_h 225 мВ, марганец — при 200 мВ, железо — при 120 мВ, сульфаты — при 150 мВ [67]. По [65] нитраты и нитриты восстанавливаются при E_h 200 и 138 мВ.

Особенно затруднена интерпретация смешанных потенциалов, полученных в средах с различной активностью водородных ионов. Как известно, соотношение активности окисленной и восстановленной фаз в потенциалопределяющих системах зависит не только от E_h, но и от pH [35, 47].

В системах с высокой концентрацией водородных ионов восстановленные соединения в форме анионов, присоединяя водород, теряют потенциалопределяющие свойства, поэтому снижение потенциала сдерживается. Для сравнения окислительно-восстановительных условий в системах с различной кислотностью их смешанные потенциалы (E_h) приводят к pH 7 или пересчитывают в редоксипоказатель rH_2. В качестве дополнительных характеристик ОВ-состояния почв используют содержание в почвенном растворе окисленных и восстановленных фаз поливалентных элементов, чаще всего закисного и окисного железа. Следует отметить, что содержание закисного железа, которое часто используют для диагностики глеевого процесса, может быть значительно меньше предполагаемого по величине E_h, если в почве присутствуют акцепторы водорода (NO_3^-; ClO_3^-, Mn^{4+}), потребление которых требует меньших затрат энергии [69] у нитратредуктазных микроорганизмов [3].

Необходимо также учитывать, что окислительно-восстановительная буферная емкость почв и различных их горизонтов неодинакова в различных интервалах E_h и pH [46]. В равновесных системах величина E_h, измеренная потенциометрически при помощи индифферентного и водородного электродов, зависит от активности окисленной и восстановленной фаз, согласно известному уравнению Нернста. В гетерогенных многофазных системах, к которым относятся почвы, смешанный потенциал может определяться взаимодействием нескольких окислителей-восстановителей. Под влиянием атмосферного кислорода создается относительно слабый окислительный эффект с величиной потенциала (в условиях слабокислой среды) 400—500 мВ. При измерении в кислородной атмосфере величина потенциала иногда искажается в результате окклюзии кислорода в платине. В условиях ограниченного доступа кислорода потенциалопределяющими системами могут быть органическое вещество и продукты его деструкции: гумусовые и неспецифические кислоты, а также железо, медь, марганец, азот, энзимы микроорганизмов. Содержание и соотношение этих компонентов в почве определяют не только энергию окислительных процессов, но и буферность ОВ-систем. Например, фульвокислоты при pH 5,5—5,7 способны восстановить до 0,5 моля железа на 1 моль [33].

Компоненты с высоким нормальным потенциалом способны при контакте окислять вещества с более низкой величиной E_h. Таким образом, биохимические и химические взаимодействия формируют сложную систему процессов, определяющую величину смешанного потенциала, скорость и амплитуду его изменения. Поэтому окислительно-восстановительная обстановка весьма разнообразна не только в различных почвах, но и в горизонтах почв.

Микрозональность окислительно-восстановительных условий в исследуемых почвах иллюстрируется результатами следующего опыта. В горизонте ВС бурой почвы нами определены точечные значения E_h проволочными платиновыми электродами. Опыт показал, что в течение 5 сут различными электродами регистрируются потенциалы с разностью до 200—300 мВ:

$$\overline{E}_h = 219 \text{ мВ}; \ \sigma = 153 \text{ мВ}; \ m_{\overline{E}_h} = 46 \text{ мВ}.$$

Такое варьирование величины E_h отмечалось и ранее при изучении почв нормального и избыточного увлажнения, а также в эксперименте [37, 28], и объясняется оно различием окислительно-восстановительных условий внутри и вне почвенных агрегатов.

Результаты периодического измерения E_h в теплые сезоны 1981—1984 гг. в горно-лесных бурых маломощных сильнокаменистых почвах вершины (разрез 1), бурых горно-лесных лессивированных каменистых (разрез 2) покатого склона и бурых псевдооподзоленных почвах подножия склона приведены в виде среднемноголетних, минимального, среднего и максимального показателей (табл. 39). Соответствующим образом обработаны и результаты определения pH водной вытяжки.

Для сравнения окислительно-восстановительных условий в системах с различной кислотностью показатели E_h приведены к pH 7. С этой целью использовано уравнение регрессии, рассчитанное для неравновесных сред с доступом кислорода [8]: $E_h = 0{,}70 - 0{,}06$ pH, где отношение E_h : pH = 43 (при pH = 0 $E_h = 700$ мВ; pH = 8 $E_h = 350$ мВ). Это уравнение не согласуется с регрессией для равновесных условий $E_h = 1{,}23 - 0{,}06$ pH, в которых отношение близко к теоретической зависимости. Наши исследования дают основание полагать, что для почв регрессия $E_h = 0{,}70 - 0{,}06$ pH не стабильна во времени. Поэтому нужно с большой осторожностью применять при интерпретации ОВ-состояния почв упомянутые выше «граничные состояния» систем. Средние значения E_h в природных условиях (см. табл. 39) характеризуют ОВ-состояние в гумусовых горизонтах как окислительные, с высокой энергией окислительных процессов. Вниз по профилю величина потенциала постепенно снижается, нижние горизонты почв с величиной E_h 310—400 мВ можно характеризовать как слабоокисленные, а с учетом величины pH — как умеренно восстановленные.

Таблица 39

Обобщенные показатели окислительно-восстановительного состояния почв (среднее за 4 года)

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	E_h, мВ			pH			E_h при pH 7			rH_2
			min	средн.	max	min	средн.	max	min	средн.	max	
1	A1	8	290	445	600	3,8	4,64	5,3	150	340	530	25,1
	B1	22	250	330	480	4,2	4,25	4,4	130	215	370	20,4
	BC	45	230	310	400	4,1	4,30	4,5	105	195	290	19,6
2	A1	5	390	510	600	4,4	4,92	5,7	280	420	605	27,4
	A2B1	15	365	545	700	4,6	4,80	4,9	260	450	610	28,4
	B1	26	340	485	630	4,6	4,80	5,2	235	380	555	26,3
	BC	47	150	355	460	4,7	4,90	5,2	55	265	385	22,0
5	A1	8	240	465	700	4,1	5,20	5,9	115	390	655	26,4
	A2	20	240	462	590	4,3	4,70	5,0	125	365	505	25,3
	B1	35	270	445	570	4,5	4,80	5,1	160	350	490	24,9
	BC	57	270	405	550	4,5	4,90	5,1	160	315	470	23,8
	C	70	140	395	570	4,5	5,00	5,3	30	310	390	23,6

Сопоставление измеренных величин ОВП с приведенными к нейтральной реакции и редоксипоказателем rH_2 дает основание считать два последние параметра заниженными. По-видимому, в нижних горизонтах почв в наибольшей степени искажается соотношение E_h : pH, характерное для равновесных систем. Возможно, это объясняется низкой буферностью ОВ-систем в нижних горизонтах почв. Максимальные величины ОВ-потенциала свидетельствуют о высокой энергии окислительных процессов в почвах, минимальные — о периодически возникающих восстановительных процессах, которые имеют, судя по значительному пространственному варьированию ОВ-потенциала, микроочаговый характер. Форма профильной кривой потенциала со снижением его значений от верхних гумусированных горизонтов к нижним типична для аэрируемых почв нормального увлажнения [4].

Упомянутые авторы считают, что форма профильной кривой E_h является устойчивым показателем, не меняется по годам. Поэтому ее можно использовать для диагностики почв.

В горно-лесных бурых маломощных почвах (см. табл. 39, разрез 1) амплитуда сезонных колебаний потенциала уменьшалась от верхних горизонтов к нижним. В горно-лесных бурых лессивированных почвах (разрез 2) наименее контрастный режим складывался только в гумусовом горизонте, а в минеральной толще амплитуда колебаний ОВП более широкая и близкая во всех горизонтах.

В бурой псевдооподзоленной почве (разрез 5) наибольшей

Таблица 40

Распределение ОВП по уровням энергии

№ разреза	Кол-во определений E_h	Частота встречаемости E_h, %			
		<200	200—400	400—600	>600
1	181	6,1	48,6	38,1	7,2
2	209	1,0	19,1	60,5	12,4
5	331	4,8	40,5	36,9	17,8

контрастностью характеризовался ОВ-режим в горизонте А1 со смещением в область максимальных значений потенциала и в горизонте ВС на глубине 70 см (со смещением потенциала в область минимальных значений). Последнее объясняется периодическим застоем почвенных растворов на заиленной и уплотненной поверхности горизонта ВС, в котором происходит развитие восстановительных процессов, что находит отражение как в морфологии почв, так и в их свойствах и позволяет судить о контактном внутрипрофильном оглеении.

В целом уровень энергии окислительных процессов наиболее высокий в бурых лессивированных почвах (табл. 40, разрез 2), где значения E_h, характеризующие слабоокислительную и сугубо окислительную обстановку, получены в 73 % измерений, а восстановительную обстановку — в 1 % измерений. В бурой маломощной почве выположенной вершины увала (разрез 1) энергия окислительных процессов ниже: в 49 % случаев измерения получена величина потенциала 200—400 мВ, т. е. переходная от восстановительной к слабоокислительной. Наиболее контрастный ОВ-режим наблюдался в бурой псевдооподзоленной почве (см. табл. 40, разрез 5), где особенно часто (18 % измерений) встречался потенциал выше 600 мВ, отражающий господство окислительных условий, и достаточно часто — величина < 200 мВ, характеризующая процесс глееобразования

Величины E_h в результате вычисления средней арифметической из трех повторностей смещаются от максимальных и минимальных в область средних ранговых значений (табл. 41). Поэтому усредненная величина E_h не отражает всех нюансов реальной окислительно-восстановительной обстановки в почвах. Так, в горизонте А1 почвы разреза 1 потенциал в первой повторности смещен в ранг окислительных состояний, во второй и третьей — в средние ранги. В горизонте ВС в третьей повторности во все сроки наблюдений восстановительные процессы либо преобладают, либо господствуют, а в первой повторности окислительные процессы преобладают в 36 % измерений. В горизонте А1 бурой лессивированной почвы в двух повторностях потенциал смещен в область окислительных процессов, а в третьей

Таблица 41

Частота встречаемости E_h в классах, характеризующих уровень окислительно-восстановительных процессов в 1981—1984 гг., %

Класс ОВ-условий (E_h, мВ)	Горизонт									
	А1	А2	В1	ВС	СД	А1	А2	В1	ВС	СД
	Первая повторность					Вторая повторность				
	Разрез 1									
<200	0	—	7,1	4,4	—	4,2	—	0	22,2	—
200—400	8,7	—	78,3	59,5	—	66,6	—	31,5	61,1	—
400—600	56,8	—	14,6	36,1	—	25,0	—	63,5	16,7	—
>600	34,8	—	0	0	—	4,2	—	5,3	0	—
	Разрез 2									
<200	0	0	0	0	—	0	0	0	0	—
200—400	8,7	70,0	39,1	45,5	—	0	0	5,0	34,8	—
400—600	65,2	30,0	60,9	45,5	—	68,2	50,0	75,0	60,9	—
>600	26,1	0	0	0	—	31,8	50,0	20,0	1,3	—
	Разрез 5									
<200	0	13,3	0	0	10,0	0	0	0	0	3,8
200—400	10,5	52,3	30,8	28,0	25,0	40,0	40,0	58,3	82,6	23,1
400—600	57,9	4,0	53,8	28,0	45,0	40,0	60,0	25,0	17,4	34,6
>600	31,6	0	15,4	44,0	20,0	20,0	0	16,7	0	38,5
	Третья повторность					Средн. из трех повторностей				
	Разрез 1									
<200	0	—	9,1	47,4	—	0	—	0	4,4	—
200—400	36,0	—	54,5	53,3	—	41,7	—	85,7	95,6	—
400—600	60,0	—	36,4	0,3	—	54,2	—	14,3	0	—
>600	4,0	—	0	0	—	0	—	0	0	—
	Разрез 2									
<200	0	0	0	—	—	0	0	0	—	—
200—400	34,6	0	13,0	—	—	10,1	10,1	4,5	—	—
400—600	60,9	57,3	73,9	—	—	71,7	71,7	86,4	—	—
>600	4,5	42,9	13,1	—	—	18,2	18,2	9,1	—	—
	Разрез 5									
<200	0	0	4,0	0	44,0	5,0	5,0	0	0	16,7
200—400	40,0	35,0	44,0	34,8	48,0	35,0	35,0	32,0	50,0	33,3
400—600	25,0	50,0	44,0	56,5	8,0	45,0	45,0	68,0	50,0	45,8
>600	35,0	15,0	8,0	8,7	0	15,0	15,0	0	0	4,2

Таблица 42

Обобщенные показатели содержания влаги и закисного железа

№ разреза	Горизонт	Влажность, % от массы сырой почвы			Fe^{2+}, мг/100 г почвы		
		min	средн.	max	min	средн.	max
1	A1	19,5	39,0	52,8	1,3	5,6	12,0
	B1	3,9	6,8	9,6	0,6	2,3	4,0
	BC	5,0	6,3	8,2	1,6	5,2	16,0
2	A1	22,5	38,1	49,3	2,8	12,1	23,0
	A2B1	21,8	28,3	33,2	2,0	13,5	24,0
	B1	18,0	25,3	24,6	1,7	10,2	24,0
	BC	16,6	20,2	25,3	2,2	10,5	19,9
5	A1	21,7	42,8	77,8	4,9	9,8	23,5
	A2	17,4	28,3	46,9	2,1	11,6	24,1
	B1	16,1	23,1	27,8	0,6	9,3	24,5
	BC	19,8	24,3	32,6	1,0	10,3	24,8
	C	22,1	24,8	28,4	3,1	19,3	31,3

35 % измерений зафиксировали преобладание восстановительных процессов, но величина потенциала обычно выше 200 мВ. В бурой псевдооподзоленной почве низкие величины потенциала чаще всего на контакте горизонтов ВС и СД, но в первой повторности восстановительные процессы преобладают и в горизонте А2. Очевидно, наряду с контактным внутрипочвенным оглеением на глубине 60—70 см периодически возникает кратковременное поверхностное оглеение, что, как известно, в значительной степени активизирует элювиальные процессы.

2. СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ОВ-ПОТЕНЦИАЛА

Многочисленными исследованиями установлено, что уровень энергии окислительно-восстановительных процессов и сезонная динамика ОВП зависят прежде всего от гидротермического режима почв [10, 34, 38, 62].

Анализ результатов периодического измерения влажности почв показал, что наибольшее содержание влаги наблюдается в подстилках.

Влажность гумусово-аккумулятивных горизонтов, коррелирующая с запасами гумуса, более высокая в бурой псевдооподзоленной почве шлейфа склона (табл. 42, разрез 5). Влажность минеральных горизонтов наименьшая в горных маломощных каменистых почвах. И средние, и минимальные, и максимальные показатели влажности увеличиваются в почвах трансэлювиального ландшафта (разрез 2), и особенно трансаккумулятивного

(разрез 5). Такое изменение влажности объясняется уменьшением вниз по склону содержания камней, возрастанием содержания физической глины и особенно ила, которые определяют влагоемкость почвы, а также перераспределением склоновых вод. Влажность минеральных горизонтов почв вершины (разрез 1) уменьшается от верхних к нижним. В почвах склона (разрез 2) и особенно подножия увала (разрез 5) меньшей влажностью отличаются средние горизонты (B1), а влажность нижних (BC) выше: в бурой лессивированной почве — лишь в периоды переувлажнения, в бурой псевдооподзоленной — постоянно. Вниз по склону в почвах катены возрастает и амплитуда сезонных колебаний влажности (см. табл. 42).

В бурых щебнисто-каменистых почвах вершины, обладающих наименьшей водоудерживающей способностью, атмосферные осадки, даже избыточные, быстро просачиваются через укороченный профиль и латеральным потоком сбрасываются вниз по склону.

Латеральный поток влаги перемещается вниз по склону, подпираемый заиленным горизонтом BC, который является относительным водоупором. В почвах середины склона водоупор находится на глубине около 50 см, на шлейфе погружается до 70—80 см. Поскольку на шлейфе склона уклон незначительный ($K_h = 0{,}05$), латеральный поток влаги замедляется, и над водоупором периодически возникает застойное переувлажнение длительностью 10—20 дней с развитием очагов кратковременного оглеения.

Диапазон сезонных изменений влажности в минеральных горизонтах бурых маломощных почв (разрез 1) составляет 4 %, в бурых лессивированных (разрез 2) возрастает до 7—12 %, а в бурых псевдооподзоленных, где наблюдаются наиболее высокие максимальные величины влажности,— от 7 до 30 %.

Характер связи окислительно-восстановительных процессов с влажностью почв неодинаков не только в разных почвах, но и в их горизонтах. В горно-лесных бурых почвах изменение величины потенциала на 100—200 мВ наблюдается порой при незначительных (на 2—3 %) перепадах содержания влаги.

Горизонтальная стратификация профиля по уровням энергии ОВ-процессов, наиболее отчетливо выраженная в бурых маломощных почвах элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов, сохраняется во все периоды наблюдений (рис. 7, разрезы *1*, *2*). Сезонная динамика ОВ-потенциала изменяет лишь соотношение мощностей этих зон: верхней, находящейся чаще всего в устойчивом окислительном состоянии с величиной потенциала 400—500 мВ, а в периоды иссушения 500—600 мВ и выше; средней с преобладанием окислительных процессов ($E_h = 300$—400 мВ, а в периоды иссушения 400—500 мВ); нижней, в горизонтах BC и СД со слабовыраженной окислительной обстановкой. В течение теплых сезонов в нижней зоне

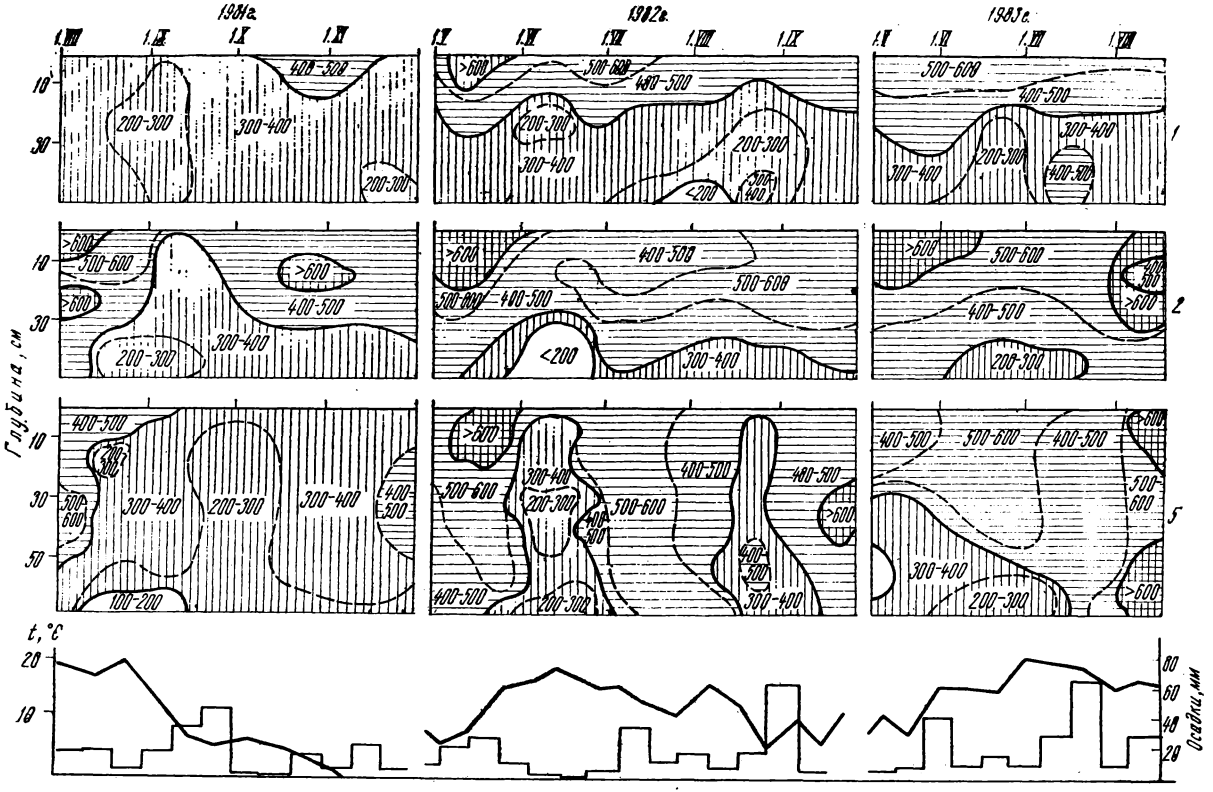


Рис. 7. Хроноизоплеты окислительно-восстановительного потенциала почв.

1, 2, 5 — номера разрезов.

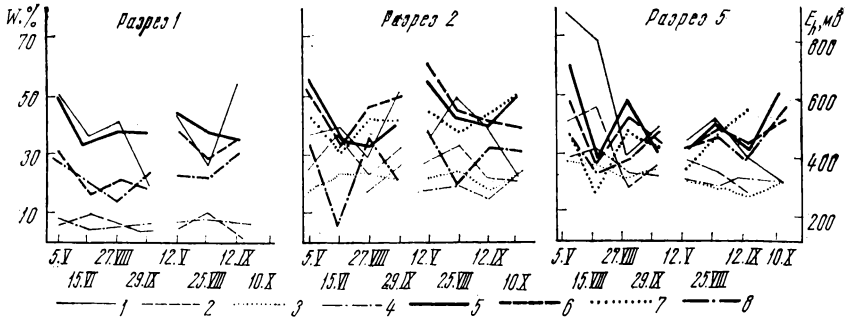


Рис. 8. Сезонная динамика влажности и окислительно-восстановительного потенциала почв.

W, %: *1* — А1, *2* — А2 (А2В), *3* — В1, *4* — ВС.
E_h, мв: *5* — А1, *6* — А2 (А2В), *7* — В1, *8* — ВС.

периодически возникают очаги восстановительных процессов со снижением потенциала до 280—70 мВ. Иногда восстановительные процессы несколько меньшей интенсивности распространяются и на средние горизонты почв. Длительность существования очагов анаэробиозиса колеблется в пределах от 20 до 50 в зависимости от погодных условий теплого периода.

В бурой псевдооподзоленной почве (см. рис. 7, разрез *5*) вертикальная стратификация отмечена лишь весной 1983 г., в остальные периоды наблюдений отсутствует. Сезонная динамика ОВ-потенциала в профиле этой почвы отличается фронтальным (во всех горизонтах или с некоторым запозданием в нижних горизонтах) возрастанием или снижением величины потенциала, в зависимости от погодных условий и влажности почвы.

Наблюдается неоднозначная реакция относительно-восстановительных систем в различных горизонтах исследуемых почв на изменение их влажности (рис. 8). В гумусово-аккумулятивных горизонтах бурых маломощных и псевдооподзоленных почв преобладает прямая зависимость от влажности почвы весной, летом и обратная зависимость осенью; в бурой лессивированной — обратная весной, прямая летом и осенью.

В горизонтах А2 (А2В), В1 всех почв, напротив, отмечена устойчивая обратная зависимость от влажности весной и летом и прямая — осенью. В нижних горизонтах почв (ВС, СД) зависимость, как правило, обратная. Объяснение данных закономерностей следует искать в особенностях гидротермического режима почв катены, в источниках увлажнения почв и отдельных их горизонтов. Почвы верхних — элювиальных позиций катены увлажняются исключительно за счет атмосферных осадков. В почвах склоновых — трансэлювиальных и особенно трансаккумулятивных ландшафтов наряду с атмосферным установлено увлажнение склоновыми водами — верховодкой, сбрасы-

вающейся по относительно водоупорным горизонтам ВС и СД. Обогащенные кислородом атмосферные осадки определяют в верхних горизонтах почв развитие окислительных процессов на уровне «кислородного потенциала» — 420—450 мВ, с преимущественно аэробной микрофлорой. По мере просачивания влаги через почву кислород используется микрофлорой на окисление органического вещества, а также на окисление редуцированных соединений. Особенно бурное развитие микрофлоры возможно весной, когда переувлажнение сочетается с повышением температуры почв. В результате растворы, просочившиеся в нижние горизонты почв и сброшенные внутрипочвенным склоновым стоком, обедняются кислородом.

В условиях относительного дефицита кислорода возрастает активность редуцирующей микрофлоры, особенно в подгумусовых горизонтах почв. Данная группа микроорганизмов использует в качестве источника энергии окисленные соединения поливалентных элементов. При этом ведущую роль играет железоредуктазная окислительно-восстановительная система [3].

В горизонтах с высоким содержанием неспецифических кислот, и особенно фульвокислот, редуцированное железо может связываться в органоминеральные комплексы, что оказывает стабилизирующее влияние на ОВ-системы и делает их устойчивыми к окислению растворенным кислородом [27, 33]. Но можно полагать, что буферное действие органоминеральных соединений невелико даже в обогащенных гумусом горизонтах, и тем более в нижних горизонтах исследуемых почв, поскольку содержание редуцированных соединений железа не превышает 5—25 мг/100 г почвы. По-видимому, фронтальная смена окислительно-восстановительных процессов в профиле бурых псевдооподзоленных почв объясняется периодическим после обильных осадков фронтальным поступлением склоновых вод с дефицитом растворенного кислорода.

Осенью активность почвенной микрофлоры, а следовательно, и вызванный ею дефицит кислорода в почвенных растворах значительно уменьшаются, поэтому в верхних и средних горизонтах почв переувлажнение не вызывает существенного снижения ОВ-потенциала. Наиболее низким уровнем энергии окислительных процессов характеризовался сезонный режим ОВ-потенциала в 1981 г., наиболее высоким — в 1983 г. (см. рис. 7).

В горно-лесной бурой маломощной почве во второй половине лета и осенью 1981 г. преобладала слабоокислительная обстановка с величиной E_h 300—400 мВ (см. рис. 7). В конце августа — начале сентября после обильных дождей активизировались восстановительные процессы, и анаэробный очаг, зародившись вначале в горизонте В1, охватил затем весь профиль, за исключением горизонта А1. В октябре на фоне снижающейся температуры и влажности почвы в верхних горизонтах развивались окислительные процессы.

В 1982 и 1983 гг. более четко выражена вертикальная стратификация по энергии окислительно-восстановительных процессов. По наблюдениям 1982 г., в верхних горизонтах до глубины 20—30 см постоянно либо преобладали, либо господствовали окислительные процессы. В июне после выпадения обильных осадков на фоне высокой температуры почвы в горизонте ВС на глубине 40—50 см сформировался очаг оглеения с величиной E_h менее 200 мВ, существовавший около 20 дней. Не менее активные восстановительные процессы охватили в августе минеральные горизонты почв ниже 20 см и преобладали здесь до второй декады сентября.

В 1983 г. мощность верхней, находящейся в окислительном состоянии зоны больше, чем в 1982 г. В мае — июне эта зона распространилась вглубь до 35 см, летом сократилась до 20 см. В нижележащих минеральных горизонтах на фоне слабоокислительной обстановки развивался очаг с преобладанием восстановительных процессов: в мае он был локализован на глубине 40—50 см, в июне охватывал минеральные горизонты, находящиеся глубже 25 см. В июле восстановительная обстановка сменилась.

В горно-лесной бурой лессивированной почве (см. рис. 7) даже в теплом и влажном 1981 г. окислительные процессы преобладали во всем профиле. В июле устойчивая окислительная обстановка с величиной потенциала 400—500 мВ отмечалась во всех горизонтах почвы. В сентябре в связи с переувлажнением почв активность окислительных процессов снижалась, а на глубине 40—50 см сформировался очаг с господством восстановительных процессов. Поздней осенью в почве сформировались две зоны: с поверхности до глубины 40 см господствовали окислительные процессы, в нижележащих слоях активность их была несколько ниже.

В 1982 и 1983 гг. окислительные процессы либо господствовали, либо преобладали во всех горизонтах, кроме СД, в котором после обильных осадков в июне 1982 г. и в конце мая 1983 г. формировались очаги с восстановительной обстановкой. При этом в 1982 г. величина E_h снизилась до 130 мВ, что свидетельствовало об оглеении почвы.

Горно-лесная бурая псевдооподзоленная почва (см. рис. 7) в августе 1981 г. характеризовалась устойчивым окислительным состоянием с величиной потенциала выше 400 мВ. Затем возрастала активность восстановительных процессов: на глубине 70 см возник очаг оглеения, а во второй половине сентября, после дождей, произошла фронтальная смена окислительных процессов восстановительными: во всех горизонтах, за исключением А1, потенциал снизился до 200—300 мВ. Во второй половине октября вновь фронтально возросла активность окислительных процессов.

В 1982 г. на фоне устойчивого окислительного состояния

наблюдалось два периода с активным фронтальным развитием восстановительных процессов: с мая до середины июня во всех горизонтах потенциал снизился до 300—400 мВ, а в средней и нижних частях профиля формировались разобщенные очаги с господством восстановительных процессов. Второй период приходился на август. Величина ОВ-потенциала в течение десяти дней снизилась с 500 до 400—300 мВ во всех горизонтах профиля, но активность осеннего анаэробиозиса была невелика, и он не привел к формированию очагов оглеения. В обоих случаях развитие восстановительных процессов связано с переувлажнением почв.

В 1983 г. с наиболее теплым вегетационным периодом бурая псевдооподзоленная почва характеризовалась стабильно высоким уровнем энергии окислительных процессов. В мае зона с господством окислительных процессов (E_h 400—600 мВ) наблюдалась в верхних горизонтах почвы, в июне стремительно расширилась вниз и с июля до конца августа охватила весь профиль. В этом сезоне возник только один очаг анаэробиозиса на глубине 50—70 см, обусловленный выпадением в первой декаде июня обильных осадков (40 мм). В результате в течение полутора месяцев потенциал снизился до 240—280 мВ.

Определение содержания закисного железа по Казариной-Окниной (в 0,1 N H_2SO_4-вытяжке) подтверждает выводы о высоком уровне энергии окислительных процессов в исследуемых почвах. Заметное количество закиси железа содержится лишь в горизонте С бурой псевдооподзоленной почвы в периоды оглеения — до 31 мг/100 г почвы (см. главу 4, табл. 44). Во время преобладания восстановительных процессов в прочих почвах содержание закиси колебалось от 19 до 24 мг/100 г, а окисленные горизонты содержали 0,6—5 мг/100 г. В периоды с высокой энергией окислительных процессов больше железа отмечено в гумусовых горизонтах, а во время активизации восстановительных процессов закиси накапливались в очагах анаэробиозиса — в горизонтах В1, ВС.

В рассмотренных выше окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условиях среды ионные формы железа могут существовать преимущественно в степени окисления 2+ во всех исследованных почвах. При возрастании pH до 6, а E_h до 550 мВ ионы Fe^{2+} гидролизуются в гидрокомплексы $[Fe(OH)_3]^0$, реже в $[Fe(OH)_2]^+$. В обогащенных гумусом горизонтах возможно образование гидрокомплекса $[FeOH]^{2+}$ (рис. 9).

Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют о высокой концентрации в почвенных растворах и природных водах железа, связанного в комплексы с высокомолекулярными органическими соединениями, в числе которых много хелатов, устойчивых в геохимических условиях почв. В кислой и слабокислой среде наиболее устойчивы фульватные комплексы железа [16].

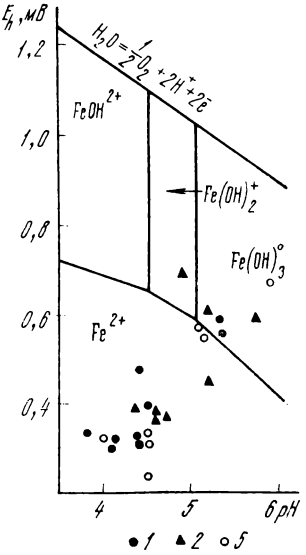


Рис. 9. Геохимические параметры почв и зоны устойчивости различных форм железа.

Тем не менее в исследуемых почвах в периоды с окислительным состоянием в слабокислой среде возможно осаждение гидролизованных форм железа (см. рис. 9). Ему способствуют микрозональность окислительно-восстановительных условий и контрастный режим потенциала. Железо, мобилизованное из очагов оглеения, перемещаясь в профиле, попадает в окислительные условия и осаждается в трехвалентной форме в виде гидрооксидов в конкреции (преимущественно в верхних горизонтах) или диффузные пленки, рыхлые ортштейны в очагах периодического оглеения (горизонты ВС, СД). Агрегация железа является одной из причин его накопления в несиликатной форме и ухудшает некоторые свойства почв. Так, сегрегированное железо переводит в труднорастворимую форму фосфор из железо-фосфатных соединений [52]. Поэтому в почвах с контрастным окислительно-восстановительным режимом возможен дефицит подвижного фосфора.

Итак, исследуемые почвы характеризуются окислительными условиями, но в их нижних горизонтах на контакте с породой периодически 1—2 раза в теплый период возникают очаги временного анаэробиозиса, существующие 1—1,5 мес, а в бурой псевдооподзоленной в отдельные годы — очаги кратковременного оглеения. В бурых почвах элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов происходит стратификация профиля по энергии окислительных процессов, с окислительной обстановкой в верхних горизонтах и снижением величины ОВ-потенциала вниз по профилю. Сезонный режим ОВ-потенциала в бурых псевдооподзоленных почвах отличается отсутствием стратификации, фронтальной сменой величины окислительно-восстановительного потенциала. Эти почвы характеризуются и наиболее контрастным режимом. Самая высокая энергия окислительных процессов наблюдается в бурых лессивированных почвах.

Пересчеты потенциометрически измеренной величины E_h в редоксипоказатель rH_2 или приведение ее к pH 7 могут исказить реальную окислительно-восстановительную обстановку.

Важно отметить основную особенность геохимических условий в почвах: они не препятствуют миграции из почвенного профиля основных микроэлементов — щелочей, щелочных земель, полуторных оксидов.

Глава 6

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, МИГРАЦИЯ ВЕЩЕСТВ В КАТЕНЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ

Перспективным направлением в изучении генезиса и эволюции почв является учение об элементарных почвенных процессах (ЭПП) [9]. Наиболее важные факторы, участвующие в организации почв, и определяемые ими окислительные и восстановительные условия, состав, свойства биоценозов, их продуктивность и возврат ими в почву различных продуктов метаболизма подробно рассмотрены в предыдущих главах. Для оценки их влияния на почвообразующий субстрат, аккумуляцию, миграцию и эволюцию веществ необходимы как качественные, так и количественные показатели. Синтетическим показателем, по мнению С. В. Зонна [19], может быть почвенное железо, так как группы и формы его соединений хорошо коррелируют с составом и свойствами почв и отражают эволюционные подтиповые связи и переходы от одного типа к другому.

Если закономерности формирования соединений железа в различных зональных условиях от умеренно холодных до субтропических выявлены [19, 20], то менее контрастные изменения в соотношении форм железа в почвах, определяемые неоднородностью экологических условий в пределах одной природной зоны или одного генетического типа почв, изучены еще недостаточно. Такие исследования начаты в последнее время на Урале [60].

Сравнительное изучение содержания железа в почвах рассматриваемой катены показало (табл. 43), что вниз по уклону местности абсолютное содержание силикатного железа закономерно возрастает. В пределах почвенного профиля количество его увеличивается с глубиной. Однако если на вершине увала в бурой маломощной почве содержание силикатного железа колеблется незначительно (1,0—1,5 %), т. е. почва слабо дифференцирована по наличию этой формы железа, то в почвах нижних частей катены отчетливо формируется иллювиальный горизонт с накоплением силикатного железа, в 2 раза превышающим его количество в других горизонтах.

Содержание в почвах несиликатного железа, как и силикат-

Таблица 43

Содержание соединений железа в горно-лесных почвах катены, % к навеске

№ разреза	Горизонт	Валовое	Силикатное	Несиликатное	Окристаллизованное		Аморфное		
					Сильно	Слабо	Сумма	Связанное с органическим веществом	Не связанное с органическим веществом
1	АОА1	2,14	1,06	1,08	0,27	0,68	0,13	—	0,13
	В1	2,22	1,08	1,14	0,14	0,79	0,21	0,11	0,10
	ВС	3,15	1,56	1,59	0,10	0,94	0,55	0,37	0,18
	СД	2,90	1,33	1,57	0,13	0,99	0,45	0,35	0,10
2	А1	3,03	1,66	1,37	0,16	0,53	0,68	0,37	0,31
	В1*l*	3,31	1,87	1,44	0,14	0,62	0,68	0,29	0,39
	В1*l*	3,48	2,16	1,32	0,19	0,68	0,45	0,16	0,29
	В1	4,07	2,68	1,39	0,21	0,92	0,26	0,05	0,21
	В2	4,37	2,77	1,60	0,41	0,95	0,24	0,04	0,20
	В2	4,72	3,04	1,68	0,38	1,07	0,23	0,03	0,20
	В2	5,05	3,34	1,71	0,43	1,05	0,23	—	0,23
	В2	5,18	3,37	1,81	0,44	1,14	0,23	—	0,23
	ВС	3,91	2,20	1,71	0,12	1,41	0,18	—	0,18
	ВС	3,20	1,74	1,46	0,07	1,22	0,11	—	0,17
3	А1	3,09	1,77	1,32	0,13	0,71	0,48	0,37	0,11
	А1А2	3,15	1,66	1,49	0,23	0,84	0,42	0,31	0,11
	А2В1	3,36	1,87	1,49	0,29	0,91	0,29	0,15	0,14
	В2	4,67	3,09	1,58	0,24	1,06	0,28	0,06	0,22
	В2	4,42	2,69	1,73	0,29	0,14	0,30	0,07	0,23
	В2	4,42	2,49	1,93	0,37	1,30	0,26	0,05	0,21
	ВС	4,80	2,63	2,14	0,49	1,15	0,35	0,05	0,30
	ВС	4,74	2,13	2,61	0,23	1,59	0,35	0,06	0,57
5	А1	4,65	2,94	1,71	0,12	0,99	0,60	0,29	0,31
	А1А2	4,52	2,78	1,74	0,31	0,83	0,60	0,10	0,50
	А1А2	4,26	2,45	1,81	0,49	0,64	0,68	0,10	0,58
	А2В1	4,76	3,08	1,68	0,25	0,93	0,50	0,10	0,40
	В1	5,49	3,82	1,67	0,28	1,03	0,36	0,09	0,27
	В1	5,92	4,12	1,80	0,28	1,18	0,34	0,09	0,25
	В2	5,86	3,67	2,19	0,09	1,83	0,27	0,04	0,23
	В2	6,04	3,88	2,16	0,29	1,67	0,20	—	0,20
	ВС	5,44	3,17	2,27	0,20	1,80	0,27	—	0,27
	ВС	6,11	3,87	2,24	0,31	1,70	0,23	—	0,23
	ВС	6,87	3,72	2,15	0,06	1,81	0,28	—	0,28
	ВС	5,86	3,72	2,14	0,05	1,82	0,27	—	0,27
	ВС	5,64	3,26	2,38	0,04	2,09	0,25	—	0,25

ного, возрастает от верхних элементов рельефа к нижним. Для внутрипрофильного распределения этой формы железа характерно повсеместное увеличение его количества с глубиной. Значительно различаются сравниваемые почвы по содержанию окристаллизованного железа. Так, если в бурой маломощной почве сильноокристаллизованное железо преимущественно накапливается в верхних горизонтах, то в других разрезах наблюдается отчетливое перераспределение по профилю с максимумом в иллювиальном горизонте. В нижних горизонтах выявлено, как правило, наименьшее в профиле содержание этой формы железа. Количество слабоокристаллизованного железа увеличивается с глубиной во всех изученных почвах.

Количество аморфного железа только в почве вершины увала возрастает вниз по профилю, а в других почвах максимум его наблюдается в аккумулятивном горизонте, а с глубиной содержание этой формы железа уменьшается. Сравниваемые почвы катены отличаются по связи аморфного железа с органическим веществом. В бурой маломощной почве больше его содержится в нижней части профиля, что свидетельствует о свободной миграции железоорганических соединений в этих условиях. Связанного с органическим веществом железа в этой части профиля в 2—3 раза больше, чем несвязанного с ним. В почве верхней части склона (разрез 2) соотношение между обеими формами аморфного железа почти равное, и в нижележащей толще резко преобладает железо, не связанное с органическим веществом. Аналогичная закономерность наблюдается и в почве нижней трети склона (разрез 5). Наибольшее биогенное накопление аморфного железа, связанного с органическим веществом, отмечено в почвах верхней (разрез 2) и средней (разрез 3) частей склона.

Соотношение групп и форм железа наиболее полно отражает относительное их количество, выраженное в процентах от валового содержания. Полученные данные (табл. 44) в согласии с рассмотренными выше позволяют утверждать, что процессы выветривания интенсивнее проявляются в маломощных почвах вершины увала, где свободное (несиликатное) железо представлено шире [21]. Они объясняют также противоречие между слабо выраженной в морфологии дифференциацией почвы и ее валовым составом, свидетельствующим об активно протекающих элювиальных процессах, и, в частности, о выносе железа (см. далее табл. 48).

Очевидно, в этих условиях происходит преимущественный вынос биогенного железа в связи с бóльшим его поступлением (0,68 г/м^2) с опадом древесного полога и напочвенного покрова, чем, например, в почве нижней трети склона (разрез 5) — 0,38 г/м^2. Компенсация его происходит за счет поступления из первичных минералов горной породы, обеспечиваемого более интенсивным выветриванием в этих условиях. Таким образом,

Таблица 44

Содержание соединений железа в горно-лесных почвах, % от валового

№ разреза	Горизонт	Валовое	Силикатное	Несиликатное	Окристаллизованное		Аморфное		Степень окристаллизованности железа
					Сильно	Слабо	Связанное с органическим веществом	Не связанное с органическим веществом	
1	АОА1	2,14	49,6	50,5	12,6	31,8	—	6,1	0,12
	В1	2,22	48,6	51,4	6,3	35,6	5,0	4,5	0,18
	ВС	3,15	49,5	50,5	3,2	29,8	11,8	5,7	0,35
	СД	2,90	45,9	54,1	4,5	34,1	12,1	3,4	0,29
2	А1	3,03	54,8	45,2	5,3	17,5	12,2	10,2	0,50
	В1*l*	3,31	56,5	43,5	4,2	18,7	8,8	11,8	0,47
	В1*l*	3,48	62,1	37,9	5,5	19,5	4,6	8,3	0,34
	В1	4,07	65,8	34,2	5,1	22,6	1,1	5,3	0,19
	В2	4,37	63,4	36,6	9,4	21,7	0,9	4,6	0,15
	В2	4,72	64,4	35,6	8,1	22,7	0,6	4,2	0,14
	В2	5,05	66,1	33,9	8,5	20,8	—	4,6	0,13
	В2	5,18	65,1	34,9	8,5	22,0	—	4,4	0,13
	ВС	3,91	56,3	43,7	3,0	36,1	—	4,6	0,10
	ВС	3,20	54,4	45,6	2,2	38,1	—	5,3	0,12
3	А1	3,09	57,3	42,7	4,2	23,8	12,0	3,5	0,36
	А1А2	3,15	52,7	47,3	7,3	26,7	9,8	3,5	0,28
	А2В*l*	3,36	55,7	44,3	8,6	27,1	4,4	4,2	0,19
	В2	4,67	66,2	33,8	5,1	22,7	1,3	4,7	0,18
	В2	4,42	66,8	39,2	6,6	25,8	1,6	5,2	0,17
	В2	4,42	56,3	43,7	8,4	29,4	1,1	4,8	0,13
	ВС	4,80	54,8	43,4	4,8	33,1	0,6	6,3	—
	ВС	4,74	84,9	55,1	13,8	28,1	1,0	12,0	—
5	А1	4,65	23,2	36,8	2,6	21,3	6,2	6,7	0,35
	А1А2	4,52	61,5	38,5	6,9	18,4	2,2	11,1	0,35
	А1А2	4,26	57,5	42,5	11,5	15,0	2,3	13,7	0,38
	А2В1	4,76	64,7	35,3	5,3	19,5	2,1	8,4	0,30
	В1	5,49	69,6	30,4	5,1	18,8	1,6	4,9	0,22
	В1	5,92	69,6	30,4	4,7	19,9	1,5	4,2	0,19
	В2	5,86	62,6	37,4	1,5	31,2	0,7	3,9	0,13
	В2	6,04	64,2	35,8	4,8	27,6	—	3,3	0,10
	ВС	5,44	58,3	41,7	3,7	33,0	—	5,0	0,12
	ВС	6,11	63,3	36,7	5,1	27,8	—	3,8	0,11
	ВС	5,87	63,4	36,6	1,0	30,8	—	4,8	0,13
	ВС	5,86	63,5	36,5	0,8	31,1	—	4,6	0,13
	ВС	5,64	57,8	42,2	0,7	37,1	—	4,4	0,11

имеющийся материал убеждает в том, что обязательным условием буроземообразования на Урале является компенсация выноса железа его поступлением [55], что возможно в горных условиях, а на прилегающих к Уралу равнинах бурые почвы не формируются. По мере увеличения мощности толщи мелкозема и «отрыва» его от горной породы получают развитие, как будет показано ниже, сопутствующие буроземообразованию процессы лессивирования и псевдооподзоливания.

Больше содержится в этой маломощной бурой горно-лесной почве (разрез 1) и окристаллизованного железа, и на его долю в разных горизонтах почвенного профиля приходится от 33,0 до 44,4 %. К окристаллизованным формам относятся все окисные и гидроокисные соединения железа, их образование происходит при хорошей аэрации и преобладании окислительных условий, благоприятствующих кристаллизации аморфных форм [20]. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что маломощная хрящеватая почва вершины увала контрастно отличается от сравниваемого ряда почв окислительным режимом почвообразования. Возможно, это одна из причин приуроченности бурых недифференцированных почв к наиболее высоким хорошо дренированным вершинам и крутым участкам склонов при близком подстилании хрящеватых горных почвообразующих пород [55].

Большой интерес для определения ЭПП имеет соотношение между сильно- и слабоокристаллизованным железом. Характерными для буроземного процесса почвообразования считаются [21] преобладание слабоокристаллизованных форм железа и повышение их доли с глубиной, снижение аморфных и сильноокристаллизованных его форм. Этим диагностическим признакам удовлетворяют изученные почвы. Только в маломощной почве вершины увала содержание аморфных форм железа не уменьшается, а возрастает с глубиной. Очевидно, это обусловлено тем, что при иссушении и дренаже происходит кристаллизация части аморфных форм железа. Кроме того, в этой почве содержание аморфного железа, связанного с органическим веществом, увеличивается вниз по профилю, следовательно, наряду с буроземообразованием имеет место гумусово-иллювиальный процесс. Он контролируется и содержанием общего гумуса, что рассматривается как характерный признак горных бурых лесных почв холодных гумидных областей, в частности Урала [55].

Важными показателями для установления ЭПП являются также характер распределения слабоокристаллизованного и аморфного железа и соотношения между ними. Лессивирование и псевдооподзоливание сопровождаются усилением гидратации и переходом слабоокристаллизованных форм железа в аморфное, что связано с переувлажнением [19, 20]. Исходя из того, что содержание в сравниваемых почвах слабоокристаллизованного железа уменьшается вниз по уклону местности (например, от 32 %

от валового на вершине увала до 17—24 % в других разрезах в горизонте А1), а аморфного возрастает соответственно с 6 до 13—22 %, можно считать, что лессивирование и псевдооподзоливание имеют место в почвах нижних частей склона. Однако полученные нами и имеющиеся в литературе данные, к сожалению, не позволяют установить параметры для разграничения и оценки степени проявления этих процессов.

Степень окристаллизованности железа (Fe_0 — оксалаторастворимое по Тамму, Fe_d — дитионитрастворимое по Мера-Джексону) используют в качестве показателя дренированности почв [25]. Наиболее дренированы верхние горизонты почвы вершины увала, тогда как в нижних дренированность уменьшается, т. е. здесь возможен застой влаги за счет подпора ее на контакте с плотной горной породой (см. табл. 44). В почвах, расположенных ниже по рельефу, дренированность верхней части профиля сильно уменьшается, а нижней возрастает и довольно стабильно во всех разрезах.

Приняв вслед за авторами предложенного расчета [19] за показатель окислительных условий величину степени окристаллизованности железа до 0,2, можно отметить следующие (помимо рассмотренных выше) особенности сравниваемых почв. Вниз по уклону местности возрастает мощность слабодренированной толщи — в разрезах 2 и 3 она равна 45 см, а в разрезе 5 — 70 см. Неожиданно высокими оказались цифры, характеризующие степень окристаллизованности железа в почве верхней части склона (разрез 2), что выделило бурую маломощную почву из всех других.

Гумусонакопление — один из важнейших элементарных процессов почвообразования, направление которого оценивается как по общему содержанию и закономерностям профильного распределения, так и по качественному составу гумуса. Как было отмечено выше, изученные почвы катены относятся к высокогумусным, однако содержание гумуса в почвах разных ее частей колеблется значительно. Для более полного представления о содержании и распределении по профилю органического вещества проводили послойное определение количества углерода на одной и той же глубине (5—10, 10—20 и 20—50 см). Наиболее высокие показатели в маломощной бурой почве вершины увала, где содержание углерода колеблется от 11,8 до 2,0 % по профилю, средняя величина в толще 50 см — 5,5 % (табл. 45). Обращает внимание высокое его содержание в слое 20—50 см, что свидетельствует о большей подвижности здесь гумусовых веществ. В почвах верхней и средней частей склона по сравнению с нижней содержится меньше углерода. В наличии запасов углерода, рассчитанных на объемную массу мелкозема, выявлены иные закономерности. Наибольшие запасы приходятся на почву нижней и верхней частей склона, а вершина увала и средняя часть склона занимают промежуточное положе-

Таблица 45

Содержание и запасы углерода и азота в почвах катены

Мощность слоя, см	Углерод общий, %				Запасы углерода, т/га				Запасы азота, т/га				Отношение C : N			
	1*	2	3	5	1	2	3	5	1	2	3	5	1	2	3	5
5—10	11,8	5,0	6,7	6,7	13,0	10,2	13,4	28,5	1,5	2,2	1,8	4,6	8	5	7	6
10—20	2,5	2,1	1,2	2,3	6,1	18,7	8,8	20,8	1,9	3,6	3,7	4,6	3	5	2	4
20—50	2,3	0,8	0,6	0,8	36,0	37,5	22,6	25,2	9,4	13,7	10,4	8,0	3	3	2	3
5—50 Средн.	5,5	2,8	2,8	3,3									4,6	4,3	3,3	4,3
Сумма					55,1	66,4	44,8	74,3	12,8	19,5	15,9	17,2				

* Номер разреза.

ние. Минимум углерода обнаружен в последнем случае. Запасы его как по отдельным слоям, так и в сумме в 50-сантиметровой толще сравниваемых почв больше на нижних участках катены. Гумусовые вещества, судя по отношению C : N, насыщены азотом. Максимальная величина этого отношения соответствует гумусовому горизонту бурой маломощной почвы (разрез 1), что обусловлено грубогумусным составом подстилки.

Различаются сравниваемые почвы и по профильной дифференциации качественного состава гумуса. Если в подстилках формируются гумусовые вещества фульватно-гуматного типа ($C_{кг} : C_{фк} = 1{,}0—1{,}4$, табл. 46), то в нижележащих горизонтах возрастает роль фульвокислот. Однако фульватный гумус формируется на разной глубине. В почве вершины увала гуматно-фульватный гумус сменяется фульватным с глубины 70 см, а в почвах верхней и средней частей — с 35—40 см. В профиле почвы подножия склона образуются две разобщенных «зоны» фульватного гумуса (одна на глубине 33—44 см, другая — 61—70 см). В остальной толще гумус имеет гуматно-фульватный состав. В почве верхней части склона в отличие от других создаются наиболее благоприятные условия для новообразования гуминовых кислот, что подтверждается фульватно-гуматным составом гумуса не только лесной подстилки, но и горизонтов A1 и B1 (до глубины 20 см).

Фракционный состав гумуса этих почв (см. табл. 46) так же, как и групповой, свидетельствует о нарастающем элювиально-иллювиальном расчленении почвенного профиля вниз по уклону местности. В почве вершины увала (разрез 1) гуминовые кислоты распределяются по аккумулятивному типу. В их составе преобладают бурые гуминовые кислоты (фракция I) и прочно-

связанные с полуторными окислами (фракция III). На долю гуминовых кислот, связанных с кальцием, приходится от 5 до 14 % от суммарного количества. Только в верхней части горизонта СД, где создаются условия для осаждения гуматов кальция, количество их достигает 40 % от суммарного. Фульвокислоты фракции Iа и II свободно мигрируют по почвенному профилю и накапливаются в нижних горизонтах. В верхней части профиля широко представлены фракции, связанные с полуторными окислами (I и III), на долю которых здесь приходится 75—80 % от суммарного количества фульвокислот. Негидролизуемый остаток составляет в верхних горизонтах около 50 %, и количество его равномерно распределено в пределах профиля.

В почве верхней части склона (разрез 2) также широко представлены гуминовые кислоты фракции I. Однако здесь заметно возрастает доля гуматов кальция, и с глубины 35—40 см они становятся доминирующими в составе гуминовых кислот. Среди фульвокислот преобладает агрессивная их фракция, что отличает эту почву от рассмотренной выше. В ней шире представлены фульвокислоты, непрочно связанные с полуторными оксидами, содержание негидролизуемого остатка сильно колеблется в разных горизонтах, т. е. гумусовый профиль в них значительно сложнее. По распределению суммарного количества гуминовых и фульвокислот наблюдается три перепада их содержания на глубине 10, 55 и 75 см (см. табл. 46).

В почве средней части склона (разрез 3) при сходном фракционном составе гумусовых веществ отмечено дальнейшее усложнение их распределения по профилю, однако наибольшей расчлененности достигает почва подножия склона (разрез 5).

Усложнение гумусового профиля от верхней части катены к нижней тесно связано прежде всего с усилением в этом направлении текстурной дифференциации. Представление о роли лесной растительности в формировании гумусовых веществ дает прежде всего качественный состав последних в подстилках. Наибольшие различия, как оказалось, выражены во фракционном составе гуминовых, а не фульвокислот. Сравнение фракционного состава кислот показывает, что больше гуминовых кислот, рыхло связанных с полуторными окислами, в подстилке ельника высокотравно-папоротникового (разрез 2). Наибольшим содержанием гуминовых кислот, связанных с кальцием, отличается подстилка ельника травяного с липой (разрез 3), очевидно, в связи с более высоким его количеством в опаде липы.

Наиболее «агрессивная» фракция Iа фульвокислот в верхних горизонтах всех рассматриваемых почв представлена незначительно (не более 5—6 % от суммы фульвокислот). Вследствие высокой ее мобильности фульвокислоты выносятся из верхней части профиля. В почвах разрезов 1 и 2, т. е. в верхней части катены, наблюдается нисходящая миграция гумусовых веществ этой фракции фульвокислот с максимумом ее в горизонте С, что

Таблица 46

Качественный состав гумуса, % к почве

№ разреза	Горизонт	С общий	Фракции гуминовых кислот				Фракции фульвокислот					Сумма фракций, %	Негидролиз. остаток, %	$\frac{С_{гк}}{С_{фк}}$
			I	II	III	Сумма	Ia	I	II	III	Сумма			
1	АО	33,7	12,3	1,4	10,9	24,6	2,2	12,4	4,1	5,4	24,1	48,7	51,3	1,02
	АОА1	11,8	13,3	3,7	9,1	26,1	1,9	14,7	1,2	8,6	26,4	52,8	47,5	0,99
	В1	2,5	13,5	1,0	6,3	20,8	6,7	11,6	8,0	6,2	32,5	53,3	46,7	0,68
	ВС	2,3	4,3	6,8	6,0	17,1	14,5	1,3	12,4	5,1	33,3	50,4	49,6	0,51
	СД	1,7	7,7	1,8	5,3	14,8	17,8	0,6	18,9	1,8	39,1	53,9	46,1	0,38
2	А0	26,0	15,6	2,5	8,1	26,2	2,8	11,2	1,8	5,1	20,9	47,1	52,9	1,25
	А1	5,0	20,7	12,2	8,4	41,3	6,0	17,9	0,8	11,9	36,6	77,9	22,1	1,13
	В1	2,1	17,5	9,2	6,1	32,8	12,8	12,5	3,5	4,2	32,5	65,3	34,7	1,01
	В1	1,3	17,8	7,8	4,7	30,3	17,1	10,9	10,9	4,7	43,6	73,9	26,1	0,69
	В1	0,7	10,1	18,8	2,9	31,8	15,9	11,6	10,1	2,9	40,5	72,3	27,7	0,79
	В1	0,5	0,6	17,4	2,0	20,0	22,0	14,0	8,0	8,0	52,0	72,0	28,0	0,38
	В2	0,5	6,2	3,8	7,4	17,4	19,4	3,4	14,6	4,0	42,3	59,7	40,3	0,41
	В2	0,4	4,6	9,4	6,1	20,1	18,5	11,2	11,9	2,1	43,9	63,8	36,2	0,46
	В2	0,4	4,5	5,6	5,7	15,8	17,7	8,0	14,7	3,4	43,8	59,6	40,4	0,36
	С	0,5	0,4	13,3	5,9	19,6	15,7	9,8	25,5	3,9	54,9	74,5	25,5	0,36
	С	0,4	3,9	14,7	8,9	27,5	22,6	19,6	4,0	4,3	50,5	78,0	22,0	0,54

3	A0	20.5	13,8	6,7	8,2	28,7	3,0	10,6	1,3	5,7	20,6	49,3	50,7	1,39
	A1	6,7	12,2	10,8	0,7	23,7	6,4	18,9	1,0	4,0	30,3	54,0	46,0	0,78
	A1A2	1,2	11,6	7,5	6,8	25,9	14,2	13,3	8,3	4,2	40,0	65,9	34,1	0,65
	A2B	0,8	9,8	12,2	6,1	28,1	14,6	13,4	4,9	3,7	36,6	64,7	35,3	0,77
	B2	0,5	7,4	9,3	3,7	20,4	22,2	3,7	14,8	3,7	44,4	64,8	35,8	0,46
	B2	0,5	3,8	5,7	3,8	13,3	18,5	7,5	17,0	1,9	44,9	58,2	41,8	0,30
	B2	0,4	2,7	8,1	2,7	13,5	16,2	13,5	10,8	5,4	45,8	59,4	40,6	0,30
	BC	0,5	1,9	5,8	1,9	9,6	11,5	3,8	9,6	3,8	28,7	38,3	61,7	0,3
	BC	0,3	4,0	4,0	4,0	12.0	16,0	4,0	16,0	8,0	44,0	56,0	44,0	0,4
	BC	0,2	4,8	9,5	4,0	19,1	19,1	4,8	14,3	4,8	43,0	62,1	37,9	0,44
	BC	0,4	2,7	5,4	5,4	13,5	10,8	10,8	8,1	8,1	37,8	51,3	48,7	0,36
5	AO	28,3	9,3	3,1	13,9	25,3	3,0	11,7	2,2	5,9	22,8	48,1	51,1	1,11
	A1	6,8	12,9	6,3	7,8	27,0	4,9	18,9	0,3	4,2	28,3	55,3	44,7	0,95
	A1A2	2,3	12,9	2,6	6,8	22,3	6,9	22,0	0	6,6	35,5	57,8	42,2	0,63
	A1A2	1,6	12,7	2,6	8,0	23,3	8,9	20,4	6,3	4,0	39,6	62,9	37,1	0,59
	A2	0,7	5,2	5,2	5,1	15,5	15,6	19,5	3,9	4,0	43,0	58,5	41,5	0,36
	B1	0,5	3,7	16,6	4,4	24,7	20,4	16,6	3,8	6,7	47,5	72,2	27,8	0,52
	B1	0,5	5,5	7,3	9,3	22,1	12,7	14,5	0	5,2	32,4	54,5	45,5	0,68
	B2	0,4	2,7	7,8	5,5	16,0	15,8	13,1	2,7	7,7	39,3	55,3	44,7	0,41
	B2	0,3	4,0	16,0	8,8	28,8	16,0	12,0	0	11,2	39,2	68,9	32,0	0,73
	B2	0,8	3,3	5,7	7,3	16,3	10,0	6,7	6,6	7,5	30,8	47,1	53,9	0,53
	B2	0,2	3,4	13,2	7,1	23,7	12,5	4,2	12,5	17,7	46,9	68,5	31,5	0,51
	B2	0,2	4,9	11,8	8,6	25,3	8,8	7,6	3,9	19,2	43,2	66,6	33,4	0,59
	BC	0,3	2,5	24,4	8,8	35,7	13,7	4,6	7,0	16,9	42,2	77,9	22,1	0,85
	BC	0,3	2,7	15,7	6,9	25,3	11,3	4,5	15,4	7,9	39,1	64,4	35,6	0,65

составляет соответственно 17,8 и 22,6 % от суммарного количества фульвокислот в этом горизонте. Почвы нижней части катены отличает элювиально-иллювиальное распределение этой фракции как результат более выраженной их текстурной дифференциации.

В заключение, используя показатели гумусного состояния почв [39], рассмотрим основные особенности последнего в сравниваемом ряду почв (табл. 47). По большинству признаков почвы чрезвычайно сходны между собой. Их основные отличия сводятся к следующему: почва раздела 1 характеризуется постепенной убылью гумуса, тогда как другие — резкой; почва разреза 2 имеет очень высокую степень гумификации органического вещества в горизонте A1 (при средней в других) с его гуматно-фульватным составом, а почва разреза 5 — низкое (при среднем в других) содержание основных гуминокислот. Таким образом, полученные данные о качественном составе гумуса, а также обобщенные ранее материалы [57] согласуются с критериями, предложенными В. В. Пономаревой [41, 42], и подтверждают принадлежность этих почв к бурым лесным.

Для выяснения генетической сущности почв большое значение имеет изучение их валового химического состава как результирующего поступление и миграцию веществ.

Содержание SiO_2 (табл. 48) в профиле рассматриваемого ряда почв уменьшается от верхних частей катены к нижним, что согласуется с изменением в этом направлении гранулометрического состава. Максимальное содержание SiO_2 в маломощной почве свидетельствует о сильном влиянии кислой горной почвообразующей породы. В то же время для этой почвы характерна сравнительно слабая дифференциация валового химического состава. Если разница в содержании SiO_2 по горизонтам данного почвенного профиля составляет 2 %, то в других разрезах — 8—10 %. То же самое можно сказать и о разнице в содержании железа, которая составляет 1 % в почве вершины и более 2 % — в других сравниваемых почвах. Разница в содержании алюминия равна соответственно 2 и 5—8 %.

Более высоким содержанием SiO_2 отличаются верхние горизонты почв. Относительное накопление его здесь — это результат преимущественного выноса полуторных оксидов, а также частичное биологическое накопление в связи с высокой долей SiO_2 в опаде еловых биоценозов. Вынос фиксируется как по уменьшению содержания оксидов в верхних горизонтах, так и по молекулярным отношениям $SiO_2 : Fe_2O_3$ и $SiO_2 : Al_2O_3$. Судя по более широким молекулярным отношениям $SiO_2 : Fe_2O_3$, железо выносится интенсивнее. В маломощной почве происходит нисходящая его миграция с последующим накоплением в зоне контакта с плотной почвообразующей породой, тогда как в других почвах выявлено элювиально-иллювиальное распределение железа. Необходимо отметить, что мощность элювиальной толщи

Таблица 47

Показатели гумусного состояния почв

Признак	1*		2		3		5	
	Уровень признака	Величина	Уровень признака	Величина	Уровень признака	Величина	Уровень признака	Величина
Мощность подстилки, см . . .	Средняя	5	Средняя	4	Средняя	5	Средняя	5
Отношение запасов органического вещества в подстилке и в минеральном профиле . . .	Эндоморфное распределение ОВ	1	Эндоморфное распределение ОВ	1	Эндоморфное распределение ОВ	1	Эндоморфное распределение ОВ	1
Содержание гумуса в А1, %	Очень высокое	20,3	Высокое	8,6	Очень высокое	11,6	Очень высокое	11,7
Убыль содержания гумуса в А1 относительно нижележащего горизонта	Постепенная	4,7	Постепенная	2,4	Постепенная	2,8	Постепенная	3,0
А1 : ВС	»	5,1	Резкая	12,5	Резкая	22,3	Резкая	22,7
Обогащенность гумуса азотом (С : N)								
в АО	Низкая	23,2	Очень низкая	17,9	Очень низкая	19,0	Очень низкая	25,7
в А1	Средняя	10,1	Высокая	5,9	Средняя	8,9	Высокая	7,3
Степень гумификации органического вещества								
в АО	Средняя	24,6	Средняя	26,2	Средняя	28,7	Средняя	25,3
в А1	»	26,1	Очень высокая	41,3	»	23,7	»	27,0

Окончание табл. 47

Признак	1*		2		3		5	
	Уровень признака	Величина	Уровень признака	Величина	Уровень признака	Величина	Уровень признака	Величина
Тип гумуса								
в АО	Фульватно-гуматный	1,02	Фульватно-гуматный	1,25	Фульватно-гуматный	1,39	Фульватно-гуматный	1,11
в А1	Гуматно-фульватный	0,99	»	1,13	Гуматно-фульватный	0,78	Гуматно-фульватный	0,95
Содержание «свободных» ГК, % к их сумме								
в АО	Среднее	50	Среднее	59	Среднее	48	Низкое	37
в А1	»	51	»	50	»	51	Среднее	48
Содержание ГК, связанных с Са, % к их сумме								
в АО	Очень низкое	6	Очень низкое	10	Низкое	23	Очень низкое	12
в А1	»	14	Низкое	30	Среднее	46	Низкое	23
Содержание прочно связанных ГК, % к их сумме								
в АО	Высокое	44	Высокое	31	Высокое	29	Высокое	57
в А1	»	35	Среднее	20	Низкое	3	»	29

* Номер разреза.

Таблица 48

Валовой химический состав почв, % на прокаленную навеску

№ разреза	Горизонт	П. П. П.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
1	AOA1	25,80	86,58	6,97	2,14	1,01	0,49	0,30	21,21	110,92	17,80
	B1	6,19	85,61	8,41	2,22	0,72	0,35	0,19	17,38	102,52	14,86
	BC	5,62	84,03	9,20	3,15	0,49	0,70	0,21	15,54	71,02	12,75
	СД	5,25	85,72	9,02	2,90	0,72	0,69	0,18	16,22	78,41	13,44
2	A1	13,36	78,60	10,58	3,03	1,33	0,96	0,11	12,59	68,89	10,64
	B1*l*	7,27	77,44	13,06	3,31	0,99	0,89	0,11	10,07	62,27	8,67
	B1*l*	5,81	76,30	13,35	3,47	0,97	1,22	0,08	9,77	58,53	8,32
	B1	5,28	74,33	16,47	4,07	1,09	1,40	0,02	7,64	48,55	6,60
	B1	5,48	73,08	15,28	4,37	0,86	1,67	0,02	8,11	44,42	6,86
	B2	5,28	70,61	17,92	4,72	0,74	1,35	0,01	6,68	39,73	5,72
	B2	4,76	69,76	18,50	5,05	0,75	1,97	0,02	6,46	36,77	5,47
	B2	6,09	68,58	18,99	5,18	0,62	1,53	0,01	6,14	36,25	5,23
	C	4,82	77,15	14,44	3,91	0,61	1,31	0,01	9,05	52,45	7,72
	C	3,77	79,57	13,15	3,20	0,71	1,02	0,03	10,27	66,25	8,89
3	A1	15,78	78,93	11,86	3,09	0,83	1,29	0,12	11,33	67,73	9,70
	A1A2	5,84	78,32	9,50	3,15	0,61	1,31	0,03	14,02	66,19	11,57
	A2B*l*	5,05	76,67	13,19	3,36	0,61	1,76	0,04	9,90	60,81	8,51
	B2*g*	5,81	75,12	16,85	4,67	0,63	1,81	0,05	7,58	42,84	6,44
	B2*g*	5,18	74,13	16,94	4,42	0,60	1,74	0,07	7,43	44,59	6,37
	B*g*	5,60	73,71	16,10	4,42	0,38	1,53	0,03	7,77	44,46	6,61
	BC	5,40	72,04	16,28	4,58	0,49	1,42	0,06	7,49	41,78	6,35
	BC	5,23	71,40	16,72	4,80	0,63	1,35	0,02	7,25	39,50	6,12
	BC	4,85	71,15	16,85	4,42	0,82	1,18	0,09	7,18	44,89	6,19
	BC	5,49	70,62	16,30	4,83	0,83	1,50	0,14	7,35	38,94	6,18
	BC	5,34	72,62	16,43	4,74	0,63	1,05	0,07	7,51	40,71	6,34
5	A1	18,29	70,81	18,23	4,65	1,18	1,19	0,16	6,59	40,52	5,67
	A1A2	9,21	71,31	19,23	4,52	1,06	1,37	0,08	6,28	41,94	5,46
	A1A2	7,71	71,59	15,95	4,26	1,04	1,49	0,11	7,64	44,64	6,52
	A2B1	5,92	70,59	17,65	4,76	1,03	1,77	0,07	6,79	39,43	5,79
	B1*g*	7,33	67,32	20,12	5,49	1,06	1,84	0,06	5,68	32,59	4,83
	B1*g*	7,70	66,76	21,06	5,92	0,64	2,30	0,07	5,38	29,98	4,50
	B2	6,09	65,28	21,47	5,86	0,63	2,25	0,09	5,15	29,62	4,39
	B2	5,83	64,56	21,48	6,04	0,62	2,25	0,06	6,09	28,44	4,32
	BC*g*	6,97	65,62	21,39	5,44	0,84	2,12	0,06	5,11	32,07	4,41
	BC*g*	5,79	66,05	21,03	6,11	0,83	2,09	0,05	5,34	28,71	4,50
	BC*g*	6,13	64,43	21,18	5,87	0,85	2,45	0,06	5,16	28,69	4,37
	BC*g*	5,85	64,31	19,81	5,86	0,88	2,09	0,09	5,52	29,18	4,64
	BC*g*	5,12	62,82	20,55	5,64	0,85	2,00	0,06	5,19	29,61	4,42

(где содержание железа меньше, чем в породе) возрастает приблизительно от 20 до 40 см от верхней части катены к нижним. Исходя из небольших величин отношения $SiO_2 : Al_2O_3$ и незначительных их колебаний по профилю почвы нижней трети склона (разрез 2) можно считать, что миграция алюминия здесь выражена слабее, чем в других почвах, возможно, за счет затрудненной в этих условиях нисходящей миграции растворов. Если исходить из соотношения $SiO_2 : Al_2O_3$ как показателя интенсивности разрушения алюмосиликатной части почвы, то это разрушение сильнее выражено в почве вершины увала и ослабевает по мере уклона местности. Величину этого показателя широко использовали [45] для характеристики степени оподзоливания почв: чем она больше, тем сильнее оподзоливание. Очевидно, к горным почвам неприменим такой критерий оценки степени оподзоливания, прежде всего потому, что он находится в противоречии с морфологическим обликом почв: осветленные горизонты в почвах на верхних позициях катены (разрезы 1 и 2) отсутствуют. Здесь он скорее отражает «плотность» связи С почвы с горной породой. Кроме того, формирование элювиального горизонта не сопровождается выносом из него кальция. Минимум его содержания выражен в горизонте В2 почв нижней половины катены (разрезы 3 и 5) и на контакте с плотной горной породой (на глубине 30—40 см) в маломощной почве (разрез 1), т. е. его выщелачивание происходит в горизонтах, где имеет место более продолжительное взаимодействие между жидкой и твердой фазами почв. В почве верхней части склона (разрез 2) во всех горизонтах профиля кальция больше, чем в почвообразующей породе. Магний выносится из верхних горизонтов, очевидно, потому, что играет менее значительную роль в биологическом накоплении и потеря его компенсируется поступлением. Мощность элювиальной толщи возрастает в почвах нижних частей катены.

С функционированием биоценоза связано накопление фосфора в верхних горизонтах всех исследованных почв. Наибольшее содержание фосфора обнаружено в почве вершины увала, где его поступление с опадом древесного полога более высокое (см. главу 3, табл. 18).

Различные характер и степень выраженности элювиальных горизонтов, очевидно, определяются неодинаковыми процессами, а именно: выщелачиванием, лессивированием и псевдооподзоливанием, для разграничения которых недостаточно критериев.

Изменения вещественного и химического состава исходных горных пород — кварцитов — в общем типичны для молодых обломочных кор выветривания в гумидных и холодных гумидных областях [40, 53]. При выветривании в дериватах кислых пород содержание R_2O, RO, R_2O_3 возрастает, а кремнезема уменьшается. В процессе выветривания и формирования молодых фрессиаллитных обломочных кор происходит конвергенция хими-

ческих свойств горных пород различного состава: кислых, основных [61]. В маломощных почвопородах выветривание резко интенсифицируется почвообразовательными процессами на ортоэлювиях, поскольку первичные минералы попадают в биохимически активную зону и становятся непосредственными объектами действия почвенной микрофлоры и растворов, обогащенных органическими кислотами [2, 42]. При этом следует учесть, что вектор ряда элементарных почвенных процессов не только не совпадает по направлению с выветриванием, но может быть и противоположным, например, глинообразование маскируется лессивированием.

Дифференциация дериватов горных пород осложняется склоновыми процессами, ярко выраженными в горных условиях.

В формировании свойств почв катены склоновые процессы играют значительную роль, перераспределяя почвенные растворы и илистые частицы из элювиальных ландшафтов в аккумулятивные. Некоторые наиболее общие заключения о закономерностях миграции вещества в системе склоновых ландшафтов и дифференциации состава почвообразующих пород можно сделать, анализируя коэффициенты геохимического сопряжения почв катены (табл. 49).

Погоризонтальный анализ коэффициентов геохимического сопряжения по распределению окислов SiO_2, Al_2O_3, CaO и MgO свидетельствует, что в почве трансаккумулятивного ландшафта (разрез 5) во всех ее горизонтах по отношению к почвам элювиального (разрез 1) и трансэлювиального ландшафтов (разрезы 2 и 3) аккумулируются алюминий, железо, магний ($K_{гс}>1$), а по сравнению с верхними горизонтами бурой маломощной почвы (разрез 1) — кальций. Но в ортоэлювии этой почвы (горизонт BC) содержание валового кальция выше, чем в соответственном горизонте бурой псевдооподзоленной (разрез 5). Во всех горизонтах почвы разреза 5 содержание кремнезема меньше, чем в залегающих выше по склону почвах ($K_{гс}<1$). Активнее накапливаются алюминий и железо в горизонте A1 почвы разреза 5 (по сравнению с почвами вершины и склона), кальций — в горизонте B1, а магний — BC.

Близость геохимической связи почвы разреза 5, рассчитанная по данным валового состава, и почвы вершины (разрез 1) наименьшая, с почвами, расположенными ниже по склону, возрастает. Последнее свидетельствует, что на химический состав трансаккумулятивного ландшафта в большей степени влияют залегающие ближе почвы трансэлювиального ландшафта.

По активности склоновой дифференциации с накоплением в трансаккумулятивном ландшафте рассмотренные элементы образуют следующие ряды (рассчитанные по сумме $K_{гс}$ каждого из элементов): A1 — Al>Fe>Mg>Ca; A2 — Al>Ca>Fe>Mg; B1 — Al>Ca>Mg>Fe; BC — Mg>Al>Fe>Ca, а в среднем по почвам (без горизонта A2) Al>Fe>Mg>Ca.

Таблица 49

Коэффициенты геохимического сопряжения почв катены

Горизонт	Соотношение разрезов	$K_{гс}$ по валовому содержанию окислов				
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
A1	5/3	0,89	1,54	1,50	1,42	0,92
	5/2	0,90	1,72	1,53	0,89	1,24
	5/1	0,82	2,62	2,17	1,17	2,24
Средн.		0,87	1,96	1,73	1,06	1,16
A1A2	5/3	0,92	2,02	1,43	1,74	1,05
B1	5/3	0,91	1,19	1,24	1,77	1,06
	5/2	0,92	1,32	1,26	1,23	1,10
	5/1	0,80	2,19	1,74	2,16	2,62
Средн.		0,87	1,90	1,71	1,72	1,59
BC	5/3	0,90	1,28	1,26	1,00	1,67
	5/2	0,94	1,13	1,17	1,00	1,47
	5/1	0,75	2,38	2,05	0,85	3,26
Средн.		0,86	1,60	1,50	0,95	2,13
Средн. в катене		0,87	1,82	1,65	1,24	1,63

Такие закономерности дифференциации химических элементов могут сложиться в результате активного образования глинистых минералов и миграции их вниз по склону.

Анализ коэффициентов геохимического сопряжения по распределению окислов в почвах ландшафта дает основание считать, что от вершины увала к его подножию неуклонно возрастает степень элювиальности почв. Следует, однако, учитывать, что распределение валовых элементов по профилю почв — это интегральный показатель, он характеризует в основном «почву-память» и практически не дает информации о «почве-моменте», т. е. о процессах миграции элементов в результате современного почвообразования.

Геохимические параметры исследуемых почв на протяжении большей части теплого периода не препятствуют миграции из профиля всех исследуемых элементов (см. рис. 9).

Вынос натрия, калия, кальция, магния практически не зависит от ОВ-потенциала почвы, фосфора и алюминия — косвенно, поскольку они связаны с состоянием железа [52, 54]. Но пределы сезонных колебаний E_h — pH таковы, что возможны мо-

билизация и миграция железа: при низкой величине потенциала и pH — в виде ионов Fe^{2+}, при возрастании E_h — в виде заряженных гидрокомплексов и органожелезистых комплексов, в том числе и устойчивых внутрикомплексных соединений [33]. Пределы сезонных колебаний pH не препятствуют миграции кальция, магния, калия в ионнорастворенном виде, при малой минерализации почвенных растворов. Но основная часть калия перемещается, по-видимому, в составе взвешенных в почвенных водах вторичных минералов. На миграцию калия в почвенных водах, преимущественно в форме взвесей, ранее указано в [36].

Незначительная часть кальция и на порядок больше магния может связываться в комплексы с фульвокислотами [33], их содержание ограничивается низкой величиной pH исследуемых почв.

В сильноразбавленных и ненасыщенных почвенных растворах усиливается миграция кремния в ионной и молекулярной формах, слабо реагирующих на изменение окислительно-восстановительных условий [53].

Наиболее полную информацию о миграции веществ через почвенный профиль дает непосредственный учет их выноса из почвы или отдельных ее горизонтов методом перехвата потока хроматографическими колонками с ионообменными смолами: катионов — катионитами КУ-1 в обмен на ион водорода, анионов — анионитами АН-16 в обмен на ион гидроксила. В процессе подготовки смол установлено, что в кислой и щелочной средах они выделяют заметное количество водорастворимой органики, поэтому не могут быть использованы для сорбции мигрирующего органического вещества почв.

Хроматографические колонки устанавливали под генетические горизонты и профиль почв в разрезах 1, 2, 5 на два срока с экспозицией в один год. Первый срок — с августа 1982 г. по август 1983 г., второй — с августа 1984 г. по август 1985 г. В разрезе 3 колонки устанавливали с августа 1982 г. по август 1983 г. и с августа 1984 г. по август 1987 г. Таким образом, во второй срок колонки стояли три года. Повторность во всех случаях трехкратная.

В табл. 50 приведено количество мигрирующих веществ, перехваченных колонками (г/м^2), причем для разреза 3 второй срок рассчитан как среднее арифметическое веществ, перехваченных смолами за три года.

Интенсивность миграции исследуемых элементов в первый и второй сроки наблюдений различаются порою на порядок. Наиболее резко изменяется активность миграции кальция. Только в бурой псевдооподзоленной почве (разрез 5) установлены сходные величины и закономерности миграции кальция с максимумом выноса его из горизонта А1 и полной компенсацией потерь этого элемента из нижних горизонтов элювиально-иллювиальным перераспределением. В почве середины склона (раз-

Таблица 50

Миграция элементов через профили почв катены

Горизонт	Глубина, см	Перехвачено элементов, г/м²			
		Ca	Mg	K	P
		Разрез 1			
		3,89*	1,48	1,80	0,90
AO	3	—/0,95	—/0,47	—/2,86	—/0,54
A1	9	26,4/2,22	3,39/0,76	1,53/1,49	0,64/0,30
B1	30	21,73/2,33	2,23/0,55	1,02/1,46	0,31/0,193
BC	52	38,02/2,31	5,25/0,66	2,05/1,64	1,11/0,173
		Разрез 2			
		3,24	1,13	1,63	0,70
AO	4	7,49/3,86	—/0,46	—/3,02	—/0,31
A1	8	30,77/1,81	3,71/0,49	3,42/1,99	0,49/0,24
A2B1	17	31,94/3,34	7,26/0,93	2,24/1,69	0,68/0,17
B1	32	28,90/2,28	7,48/0,34	2,12/1,23	0,37/0,39
BC	55	35,40/1,69	7,10/0,33	2,88/0,66	0,75/0,22

Горизонт	Глубина, см	Перехвачено элементов, г/м²		
		Fe	Al	Сумма
		Разрез 1		
		0,68	0,13	8,9
AO	3	—/0,41	—/0,15	—/5,38
A1	8	4,44/0,52	1,52/1,04	37,76/6,33
B1	30	3,85/0,47	1,24/1,28	30,38/6,29
BC	52	4,01/0,46	1,16/0,83	51,60/6,08
		Разрез 2		
		0,95	0,74	8,39
AO	4	—/0,55	—/0,17	—/8,37
A1	8	4/12/0,36	1,74/0,47	44,25/5,36
A2B1	17	5,03/0,27	2,00/0,59	49,15/6,99
B1	32	3,73/0,38	1,62/0,33	44,22/4,95
BC	55	4,08/0,45	1,68/0,31	51,89/3,66

Горизонт	Глубина, см	Перехвачено элементов, г/м²			
		Ca	Mg	K	P
		Разрез 3			
		4,13	1,46	1,55	0,72
AO	4	5,87/5,26	1,27/2,67	2,68/4,12	0,35/1,55
A1	8	5,60/4,40	1,91/1,72	0,52/0,93	0,26/1,29
A2B1	25	13,23/1,91	3,75/1,21	1,39/0,55	0,64/1,50
B1	53	8,11/3,82	2,23/1,58	0,81/0,95	0,65/1,82

Окончание табл. 50

Горизонт	Глубина, см	Перехвачено элементов, г/м²			
		Ca	Mg	K	P
		Разрез 5			
		3,83	0,96	1,35	0,54
AO	4	9,10/4,64	3,84/2,23	4,11/1,02	0,24/0,47
A1	12	12,40/9,44	3,87/1,75	5,64/2,02	0,42/0,37
A2	25	7,63/7,08	2,64/1,63	5,05/1,15	0,58/0,41
B1	49	5,36/5,78	0,93/3,00	0,68/0,45	0,38/0,40
BC	68	2,71/4,09	1,76/4,27	0,58/0,36	0,32/0,37

Горизонт	Глубина, см	Перехвачено элементов, г/м²		
		Fe	Al	Сумма
		Разрез 3		
		0,47	0,43	8,76
AO	4	1,13/0,49	2,31/0,07	13,61/14,16
A1	8	0,79/0,22	1,65/0,14	10,73/ 9,40
A2B1	25	1,70/0,15	1,01/0,097	21,72/ 5,42
B1	53	0,87/0,26	1,89/0,142	14,56/ 8,57
		Разрез 5		
		0,38	0,14	7,20
AO	4	1,39/0,64	2,26/0,20	20,94/9,20
A1	12	4,81/0,44	3,40/0,16	30,54/14,18
A2	25	1,45/0,69	2,39/0,20	19,72/11/16
B1	49	1,03/0,53	2,93/0,16	11,31/10,32
BC	68	1,45/0,44	3,87/0,14	10,69/ 9,67

* Количество поступивших элементов. В числителе — первый срок, в знаменателе — второй.

рез 3) активность миграции в оба сезона близка лишь из горизонтов AO, A1, а из нижележащих горизонтов в 1982—1983 гг. кальция вымылось в 2—5 раз больше, чем во второй срок наблюдений.

Еще нагляднее различия в миграции кальция из почв элювиальных позиций катены (разрезы 1 и 2); в 1982—1983 гг. его выносилось в 10—15 раз больше, чем в 1984—1985 гг., причем элювиально-иллювиальное перераспределение практически не компенсирует потерь кальция из профиля.

Миграция железа в первый срок была активной во всех почвах, особенно в элювиальных и трансэлювиальных ландшафтах (разрезы 1, 2), но в отличие от миграции кальция элювиаль-

но-иллювиальное перераспределение перекрывает, особенно в разрезе 5, вынос железа за пределы профиля.

Активность и закономерность миграции алюминия незначительно различаются по срокам наблюдения лишь в бурой маломощной почве вершины. В склоновых позициях катены и особенно в бурой псевдооподзоленной почве подножия склона вынос в период 1982—1983 гг. различался по годам в 5—10 раз.

Миграция магния в первый срок наблюдений значительно выше, чем во второй, в почвах верхних позиций катены (разрезы 1 и 2); вниз по склону различия уменьшаются. Происходит это потому, что в 1984—1985 гг. наблюдалась хорошо выраженная тенденция возрастания активности миграции магния от верхних позиций катены к нижним. В почвах элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов вынос магния из профиля преобладал над иллювиированием. В бурой псевдооподзоленной почве в первый срок элювиально-иллювиальное перераспределение активнее выноса магния из почвы.

В 1982—1983 гг. усиленной миграцией калия отличалась бурая лессивированная и особенно бурая псевдооподзоленная почва, причем в последней преобладало элювиально-иллювиальное перераспределение. В профилях почв разрезов 1 и 3 активность выноса по срокам различалась незначительно. Различия касались лишь степени компенсации иллювиальным процессом выноса калия из горизонтов B1, BC.

Миграция фосфора по активности близкая в оба срока. Исключение составлял более активный вынос из разреза 1 в 1982—1983 гг. и из разреза 3 во второй срок. Наибольший вынос фосфора происходил чаще всего из горизонта B1.

Таким образом, самые большие различия по годам наблюдаются в миграции кальция, железа, алюминия. При этом максимальные колебания выноса кальция, железа, магния свойственны бурым маломощным и лессивированным почвам верхних позиций катены, а магния, калия и алюминия — бурым псевдооподзоленным нижних позиций.

У нас нет удовлетворительного объяснения завышенных показателей миграции кальция, магния и железа в первый срок наблюдений. Условия подготовки смол, элювиирования сорбированных ими веществ и химические методы определения были идентичными в оба срока. Можно предполагать, что это явление связано с несовершенством метода установки колонок. Ставя их, выкапывали разрезы, минимальные по длине и ширине. В стенках разрезов под соответствующими горизонтами вырывали горизонтальные орты длиной не менее 20 см, по размерам колонок. В конец орта закрепляли колонку, затем орт плотно забивали ранее вынутой из него почвенной массой [29]. Но при этом нарушались окислительно-восстановительные условия в разрезе, изменялось сложение почвы, что могло активизировать в первый

срок миграцию упомянутых элементов. По-видимому, в дальнейшем миграционные процессы приходили в равновесие.

Следует обратить внимание и на то, что в наибольшей степени различия в количестве мигрирующих через профиль веществ свойственны бурым сильнокаменистым маломощным и лессивированным почвам, в которых особенно ярко выражено пространственное варьирование свойств. Возможно, дальнейшие исследования покажут, что столь резко выраженные колебания миграции кальция, магния и железа по годам являются для бурых сильнокаменистых почв закономерными. Но не исключено и другое: именно по причине маломощности, каменистости, неравномерности сложения и проницаемости эти почвы наиболее ранимы, и любое нарушение целостности почвенного покрова резко активизирует миграционные процессы. Такие нарушения, например, в результате ветровалов или рубки леса, могут существенно изменить свойства почв и их продуктивность.

Не вдаваясь в подробный анализ данной проблемы, отметим лишь, что сведения о миграции, полученные в 1984—1985 гг., представляются нам более достоверными. Они хорошо совпадают с результатами перехвата исследуемых элементов в разрезе 3, где колонки стояли три года (1984—1987). Поэтому для обсуждения особенностей миграции химических элементов мы обратимся к сведениям за 1984—1985 гг. (см. табл. 50).

Если исключить циклические элементы (серу, азот), то количество зольных элементов, поступающих на поверхность почвы и в ее верхние горизонты, близко во всех ландшафтах катены. Из древесного и травяного опада и атмосферы кремнезема поступает 2,1—2,9 г/м^2. Суммарное поступление кальция, магния, фосфора, калия, железа, алюминия составляет 7,2—8,9 г/м^2. От вершины к подножию склона уменьшается поступление калия, фосфора.

По величине поступления в почвы (в среднем за 1981—1985 гг.) исследуемые элементы образуют ряд: Ca>Mg>K>P>Fe>Al, типичный для биогеохимического круговорота в еловых лесах региона. По интенсивности миграции элементов из почв катены (в 1984—1985 гг.) ряд таков: Ca>K>Mg>Fe>Al>P. Суммарный вынос элементов более активен из горизонтов A1 и A2, особенно кальция, фосфора, алюминия. В отличие от них калий и магний сильнее выносятся из нижних горизонтов почвы, таким образом, вынос их не всегда компенсируется поступлением за счет элювиально-иллювиального процесса.

Профильные кривые выноса изучаемых элементов, приведенные на рис. 10 для бурой маломощной почвы (разрез 1), показывают, что линия, демонстрирующая среднюю из трех повторностей миграцию, не всегда отражает реально складывающиеся в почве миграционные процессы. Так, вынос кальция, магния и калия из профиля в первой и третьей повторностях частично компенсируется иллювиальным процессом, но в треть-

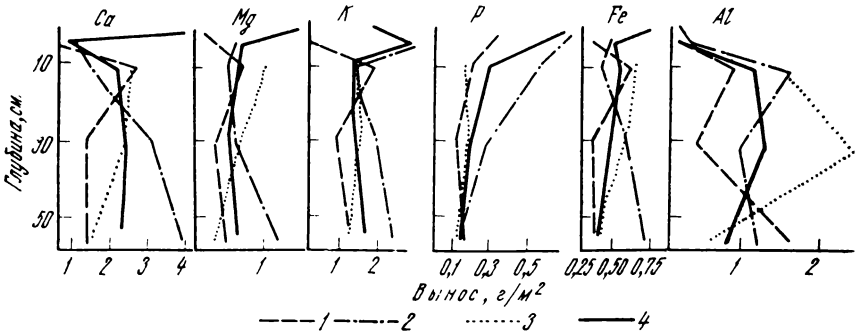


Рис. 10. Профильные кривые выноса элементов из горно-лесных бурых маломощных почв (разрез 1) в 1984—1985 гг.

1—3 — повторности, *4* — средняя из трех определений.

ей повторности интенсивность элювиирования, напротив, возрастает от верхних горизонтов к нижним и достигает максимума в горизонте ВС. Во всех повторностях опыта наблюдается преобладание элювиально-иллювиального перераспределения фосфора и алюминия над их выносом из профиля бурой маломощной почвы.

Интенсивность суммарного потока химических элементов через профили, близкая в почвах элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов (5,9—6,6 г/м²), вниз по склону возрастает до 7,5 г/м² и наибольшей величины достигает в бурой псевдооподзоленной почве трансаккумулятивного ландшафта (11,0 г/м²).

Следует отметить, что в бурой маломощной почве вещества, поступающие в нижние горизонты из верхних, не компенсируют, как правило, выноса из профиля (см. табл. 50).

В почвах склоновых ландшафтов (разрезы 2 и 3) суммарный вынос веществ из горизонта ВС за пределы профиля частично восполняется их иллювиированием из горизонтов А2 и В1. В почвах трансаккумулятивных позиций (разрез 5) усиливается как элювиально-иллювиальное перераспределение элементов, так и вынос их за пределы почвенного профиля.

В почвах верхних позиций катены элементы располагаются по снижению активности выноса в следующий ряд: Ca>K>Mg>P>Fe>Al, в трансэлювиальном ландшафте — Ca>K>Mg>Fe>Al>P и в трансаккумулятивном — Ca>K>Mg>Fe>P>Al.

Профили почв нижних позиций катены, особенно почва разреза 5, в наибольшей степени открыты для миграционных процессов. Данная закономерность объясняется, по-видимому, опусканием за пределы профиля сорбционного геохимического барьера, а также периодическим размыканием в результате кратковременного оглеения окислительно-восстановительного барьера.

Поэтому миграционные процессы в бурых псевдооподзоленных почвах лишь слабо тормозятся иллювиальным закреплением в нижних горизонтах веществ, поступающих в них из горизонтов А2 и В1. Наибольшей величины достигает вынос кальция, магния и фосфора из профиля этих почв по сравнению с почвами элювиальных ландшафтов (см. табл. 50).

Таким образом, генетические особенности почв определяются совокупностью процессов поступления и выноса элементов, своеобразием геохимической обстановки в разных экологических условиях почвообразования. Многолетний цикл стационарных наблюдений за свойствами горных почв Урала позволил глубже вскрыть их природу и расширить представления о горном почвообразовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический справочник по Свердловской области. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 196 с.

2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 481 с.

3. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 186 с.

4. Благовидов Л. Н., Рабинович В. А., Селль-Бекман И. Я. О характере изменения окислительно-восстановительного потенциала по профилю некоторых почв Ленинградской области // Почвоведение, 1957. № 6. С. 21—27.

5. Вайчис М. В. Генезис и свойства лесных почв Южной Прибалтики. Вильнюс: Минтис, 1975. 408 с.

6. Ведрова Э. Ф. Влияние сосновых насаждений на свойства почв. Новосибирск: Наука, 1980. 102 с.

7. Волобуев В. Р. Экология почв (очерки). Баку: Изд-во АН АзССР, 1963. 259 с.

8. Гаррелс Р. М., Крайст А. К. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 306 с.

9. Герасимов И. П. Опыт генетической диагностики почв СССР на основе элементарных почвенных процессов // Почвоведение. 1975. № 5. С. 3—10.

10. Гречин И. П., Курлыкова М. В. Динамика окислительно-восстановительного потенциала в дерново-подзолистой почве в зависимости от аэрации // Докл. ТСХА. 1962. Вып. 761. С. 27—34.

11. Гришина Л. А., Самойлова Е. М. Учет биомассы и химический анализ растений. М.: Изд-во МГУ, 1971. 98 с.

12. Говоренков Б. Ф. Круговорот элементов между растительностью и почвой в сосняке и лиственничнике на Карельском перешейке // География, генезис и плодородие почв. Л., 1972. С. 103—130.

13. Горбунов Н. И. Минералогия и коллоидная химия почв. М.: Наука, 1974. 310 с.

14. Горчаковский П. Л. Растительность Урала // Урал и Приуралье. М., 1968. С. 211—262.

15. Дедков В. С., Павлова Т. С., Прокопович Е. В., Агафонов Л. И. Рубки леса и свойства горно-лесных буро-подзолистых почв Среднего Урала // Антропогенные воздействия на свойства почв. Свердловск, 1987. С. 36—50.

16. Дьяконова К. В. Железогумусовые комплексы и их роль в питании растений // Почвоведение. 1962. № 7. С. 19—25.

17. Зонн С. В. Влияние леса на почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 100 с.

18. Зонн С. В. Почвы как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М., 1964. С. 372—454.

19. Зонн С. В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1983. 167 с.

20. Зонн С. В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. 167 с.

21. Зонн С. В., Рукака А. Н. Методы определения несиликатных форм железа в почвах // Почвоведение. 1978. № 2. С. 89—101.
22. Зонн С. В., Урушадзе Т. Ф. Научные основы и методические указания к биогеоценотическому изучению почв горных лесов. Тбилиси, 1974. 113 с.
23. Зубарева Р. С. Лесорастительные условия и типы темнохвойных лесов горной полосы Среднего Урала // Тр. Ин-та биологии УФАН СССР. Свердловск, 1967. Вып. 53. С. 13—87.
24. Зубарева Р. С. Пространственная дифференциация и классификация типов леса Билимбаевского массива // Научные основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала. Свердловск, 1986. С. 16—44.
25. Карманова Л. А., Вуколов И. Г. Содержание аморфного железа, не связанного с органическим веществом, как диагностический показатель при разделении гидроморфных почв Колхиды // Агропроизводственная и генетическая характеристика почв субтропической зоны Западной Грузии. Махарадзе — Анасеуле. 1983. С. 132—144.
26. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М.: Лесн. пром-сть. 1981. 262 с.
27. Кауричев И. С., Ноздрунова Е. М. Роль компонентов водорастворимого органического вещества в образовании комплексных железоорганических соединений // Докл. ТСХА. 1960. Вып. 52. С. 65—30.
28. Кауричев И. С., Тарарина Л. Ф. Об окислительно-восстановительных условиях внутри и вне агрегатов серой лесной почвы // Почвоведение. 1972. № 10. С. 39—42.
29. Кауричев И. С., Яшин И. М., Кашанский А. Д. Применение метода лизиметрических хроматографических колонок в почвенных исследованиях // Методы стационарного изучения почв. М., 1977. С. 167—199.
30. Кашибадзе Т. В., Тарасашвили Н. Г. Сравнительная характеристика подстилок хвойных лесов Восточной Грузии // Тр. Тбил. Ин-та леса. М., 1967. Т. XVI. С. 59—68.
31. Колесников Б. П. Естественно-историческое районирование лесов (на примере Урала) // Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на V Всемир. конгрессе. М., 1960. С. 51—57.
32. Куликова В. К. Выщелачивание элементов питания из крон деревьев в еловых и березово-еловых насаждениях Карелии // Лес и почва. Красноярск, 1968. С. 288—296.
33. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 269 с.
34. Люжина Н. А. О взаимосвязи режимов влажности, температуры и окислительно-восстановительных условий в дерново-подзолистых почвах // Зап. Ленингр. с.-х. ин-та. 1972. Вып. 165, № 2. С. 50—55.
35. Михаэлис Л. Окислительно-восстановительные потенциалы. М.: Изд-во иностр. лит., 1936. 346 с.
36. Морозов Н. П. К геохимии щелочных элементов в речном стоке // Геохимия. 1969. № 6. С. 32—38.
37. Неунылов Б. А. Повышение плодородия почв рисовых полей Дальнего Востока. Владивосток: Приморск. кн. изд-во, 1961. 239 с.
38. Ноздрунова Е. М., Рытикова М. Н., Шемякина А. Ф. К вопросу о динамике подвижных форм полуторных окислов и ОВП в дерново-подзолистых почвах // Докл. ТСХА. 1956. Вып. 26. С. 37—43.
39. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 269 с.
40. Побединцева И. Г. Почвы на древних корах выветривания. М.: Изд-во МГУ, 1975. 190 с.
41. Пономарева В. В. О роли гумусовых веществ в образовании бурых лесных почв // Почвоведение. 1962. № 12. С. 15—30.
42. Пономарева В. В. Теория почвообразовательного процесса. М.: Наука, 1964. 379 с.

43. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 217 с.
44. Протопопов В. В. Экологическая роль горных лесов // Экологическая роль горных лесов: Тез. докл. Всесоюз. конф. Бабушкин. 1986. С. 3—6.
45. Роде А. А. Подзолообразовательный процесс. М.; Л.: Изд-во АН СССР. 1937. 454 с.
46. Савич В. И., Кауричев И. С., Латфулина Г. Г. Окислительно-восстановительные буферные свойства почв // Почвоведение. 1980. № 4. С. 73—82.
47. Сердобольский И. П. Влияние влажности на окислительно-восстановительные процессы в подзолистых почвах // Там же. 1940. № 7. С. 47—58.
48. Сердобольский И. П. Окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия глееобразования // Работы по химии и агрохимии почв. М., 1950. Т. 31. С. 38—46.
49. Сердобольский И. П. Методы определения pH и окислительно-восстановительного потенциала при агрохимических исследованиях // Агрохимические методы исследования почв. М., 1965. С. 195—247.
50. Смолоногов Е. П., Трусов П. Ф., Софронов Б. И., Тришин Б. А. Особенности лесного фонда и лесопользования в Билимбаевском опытно-показательном лесхозе // Научные основы использования и воспроизводства таежных лесов Среднего Урала. Свердловск, 1983. С. 3—15.
51. Соколов А. А. Химический состав атмосферных осадков, прошедших сквозь полог елового и березового древостоя // Лесоведение. 1972. № 3. С. 103—106.
52. Стрельченко Н. Е., Костенков Н. М. Влияние окислительно-восстановительных условий на подвижность и закрепление фосфатов в почвах // Почвоведение. 1984. № 2. С. 22—26.
53. Таргульян В. О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 265 с.
54. Фам Тьен Хоанг. Влияние различных форм железа на некоторые физико-химические свойства почв: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л.: ЛГУ, 1979. 21 с.
55. Фирсова В. П. Почвы таежной зоны Урала и Зауралья. М.: Наука, 1977. 175 с.
56. Фирсова В. П. Экология бурых лесных почв на Урале // Эколого-географические и генетические принципы изучения лесов. Свердловск, 1983. С. 140—147.
57. Фирсова В. П. Гумус бурых горно-лесных почв Урала // Современные проблемы гумусообразования. Сыктывкар, 1986. С. 105—113.
58. Фирсова В. П., Алесенков Ю. М. Оценка лесорастительных свойств горных почв по состоянию древесной растительности // Тез. докл. VI делегации съезда ВОП. Тбилиси, 1981. Вып. 1. С. 185—186.
59. Фирсова В. П., Павлова Т. С. Почвенные условия и особенности биологического круговорота веществ в горных сосновых лесах. М.: Наука, 1983. 165 с.
60. Фирсова В. П., Ундрал Гэндэнгийн. Экологические условия формирования соединений железа в бурых горно-лесных почвах Урала. Экология. 1987. № 2. С. 41—46.
61. Фридланд В. М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 243 с.
62. Фролова Л. Н. О динамике окислительно-восстановительных процессов на вырубках еловых лесов средней тайги // Докл. ТСХА. 1964. Вып. 9.
63. Черняева Л. Е., Черняев А. М., Мигиленских А. К. Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 178 с.
64. Шумаков В. С. Принципы классификации, номенклатуры и картирования лесных подстилок // Сборник работ по лесному хозяйству. М., 1958. № 35. С. 199—217.

65. Beauchamp E. Y. Effects of temperature on NO_3 and NO_2—reduction, nitrogenous gas production, and redox potential in a saturated soil // Can. J. Soil Sci. 1973. Vol. 53, N 2. P. 213—218.
66. Bell Y. R. Removal of soluble iron by filtration // J. Amer. Water Works Assoc. 1965. Vol. 57, N 4. P. 458—471.
67. Bohn H. L. Redox potentials // Soil. Sci. 1971. Vol. 112, N 1. P. 39—45.
68. Csapo M. I., Dobai R., Muresan D. Potentialul de oxido-reducere al unor Soluri cu exces de umiditate // Sti. Sol. 1972. Vol. 10, N 1. P. 35—41.
69. Hamman R., Ottow I. C. Y. Reductive dissolution of Fe_2O_3 by saccharolytic Clostridia and Bacillus polymixa under anaerobic conditions // Z. Pflanzenernähr und Bodenkunde. 1974. Bd 137, N 2. P. 113—120.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

Глава 1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ 5

1. Экологические особенности растительного покрова 5
2. Абиотические факторы почвообразования . . . 14

Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ . . . 25

Глава 3. ОСОБЕННОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ, И РАЗЛОЖЕНИЯ ОПАДА И ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ 38

1. Поступление опада 38
2. Разложение опада 45
3. Формирование подстилки 51

Глава 4. МНОГОЛЕТНЯЯ СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ВОДНО-РАСТВОРИМЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ КАТЕНЫ 60

1. Погодные условия в годы наблюдений . 60
2. Влажность почв 64
3. Динамика pH 66
4. Водно-растворимые вещества . . . 70
5. Водно-растворимые кальций и магний . 76
6. Содержание углерода 79
7. Водно-растворимый азот 83
8. Водно-растворимый калий 86
9. Динамика HPO_4^{--} 91

Глава 5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВ . . 92

1. Средние и предельные значения геохимических показателей 92
2. Сезонная динамика ОВ-потенциала 98

Глава 6. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ПОЧВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ, МИГРАЦИЯ ВЕЩЕСТВ В КАТЕНЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ 106

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 130

Вера Павловна Фирсова,
Татьяна Сергеевна Павлова,
Валерий Степанович Дедков

БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ СВЯЗИ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В СОПРЯЖЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ СРЕДНЕГО УРАЛА

Рекомендовано к изданию
Ученым советом Института
экологии растений и животных
и НИСО УрО АН СССР

Редактор А. И. Пономарева
Художник М. Н. Гарипов
Технический редактор Н. Р. Рабинович
Корректор Е. М. Бородулина

Сдано в набор 17.02.89. Подписано в печать 05.01.90. НС 17003. Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,5. Уч.-изд. л. 10. Тираж 600. Заказ № 193. Цена 1 р. 50 к.

620008 Свердловск, ГСП-219, ул. 8 Марта, 202.
Института экологии растений и животных.
Типография изд-ва «Уральский рабочий»,
Свердловск, пр. Ленина, 49.