

Ф. Я. САПРЫКИН

ГЕОХИМИЯ  
ПОЧВ  
И ОХРАНА ПРИРОДЫ

НЕДРА

---

Ф. Я. САПРЫКИН

# ГЕОХИМИЯ ПОЧВ И ОХРАНА ПРИРОДЫ

Геохимия,  
повышение плодородия  
и охрана почв

4657



ЛЕНИНГРАД «НЕДРА»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
1984



Сапрыкин Ф. Я. Геохимия почв и охрана природы. Геохимия, повышение плодородия и охрана почв.—Л.: Недра, 1984.—231 с.

Книга посвящена геохимии почв, генезису почвенного покрова в истории развития Земли. Рассмотрены геохимические особенности почвообразования в гумидном и аридном климате. Особое внимание обращено при этом на нечерноземную зону. Оценена роль ледниковой деятельности при создании специфических почвообразующих пород, описаны процессы оподзоливания и оглеения почв. Показано значение отдельных микроэлементов в жизнедеятельности растений и человека, приведены данные о степени обеспеченности ими почв Нечерноземной зоны Северо-Запада РСФСР. Проанализированы природные недостатки почв нечерноземной зоны, определяющие их низкое плодородие.

Предложен и описан агрогеохимический метод коренной перестройки структуры и механического состава почв, способный привести к улучшению их водно-физических и агрохимических свойств и к повышению плодородия. Метод основан на одноразовом внесении в почву местных осадочных горных пород и отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, что улучшает структуру почвы и ликвидирует дефицит в необходимых химических элементах. Применение этого метода позволит повысить плодородие почв, сэкономить большое количество минеральных удобрений, а также освободить земли, занимаемые отвалами горных пород.

Для почвоведов, агрономов, агрохимиков, землеустроителей, мелнораторов, геологов, геохимиков.

Табл. 120, ил. 7, список лит. 92 назв.

Рецензенты: В. А. Ксенофонтова («Севзапгипрозем»), канд. геол.-минерал. наук В. С. Певзнер (ВСЕГЕИ).

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Почвенный покров занимает незначительную часть коры выветривания, однако он является основой жизнедеятельности органического мира. Самые молодые нечерноземные почвы формировались в течение 10—30 тыс. лет, почвы тундры — более короткий период. Формирование же черноземов требует нескольких сотен тысяч лет и более.

На современном этапе развития человеческого общества при активном его вмешательстве в природу ценность почвенного покрова значительно повышается. Индустриализация страны и интенсификация сельского хозяйства потребовали широкого развертывания строительства заводов и фабрик, тепло- и гидроэлектростанций, роста добычи полезных ископаемых, и особенно открытым способом, создания искусственных озер и морей, каналов, оросительных систем, возведения новых городов. Все это значительно сократило площади почвенного покрова, и особенно в густонаселенных районах Европейской части Советского Союза. В дополнение к этому произошло изменение ландшафта в районах активной деятельности человека, возникли техногенные ландшафты, занимающие большие площади и являющиеся в большинстве случаев источником загрязнения окружающей среды.

Активное вмешательство человека в природу неуклонно сокращает площади почвенного покрова, а следовательно, и фонд пахотных земель. Кроме того, происходит интенсивное природное нарушение почвенного покрова под действием водной и ветровой эрозии, усилиению которой способствует антропогенное изменение ландшафта. Необходимо учитывать и рост населения нашей планеты.

В нашей стране динамика уменьшения пахотных земель выглядит следующим образом: в 1953 г. на душу населения приходился 1 га, в 1965 г.—0,96, в 1970 г.—0,91, в 1975 г.—0,88 [66]. В связи с сокращением фонда пахотных земель и с ростом населения необходимо интенсифицировать сельскохозяйственное производство, повышая продуктивность каждого гектара пахотной земли, с одной стороны, и осваивая целинные земли путем их мелиорации — с другой.

Майский (1982 г.) Пленум ЦК КПСС принял Продовольственную программу СССР на период до 1990 г. Одним из основных направлений ее реализации является «обеспечение высоких темпов сельскохозяйственного производства на основе последовательной его интенсификации, высокоэффективного использования земли, всемерного укрепления материально-технической базы, ускоренного внедрения достижений науки и передового опыта». Ставится задача: «Исходя из конкретных природно-экономических условий обеспечить введение и освоение научно обоснованных систем земледелия»\*. Особо важная роль отводится развитию промышленности минеральных удобрений: «Министерству сельского хозяйства СССР и Советам Министров союзных республик поручено увеличить в 1985 году по сравнению с 1980 годом поставку минеральных удобрений под зерновые культуры не менее чем в 1,7 раза и в 1990 году — в два раза. Направлять прирост ресурсов удобрений преимущественно в зоны, обеспечивающие наибольшее увеличение сборов товарного зерна».

Повышения плодородия почв и увеличения сборов товарного зерна можно добиться в следующих направлениях.

1. Для черноземной зоны и зон с высокой окультуренностью почв следует интенсивнее использовать минеральные удобрения. В этом отношении можно сослаться на опыт других стран (ФРГ, Франция), где дозы минеральных удобрений под зерновые составляют 400 кг/га при средней урожайности 40 ц/га. Рекомендуется в качестве заменителей минеральных удобрений использовать горные породы и отходы металлургической промышленности, богатые фосфором, калием и микроэлементами.

2. Для Нечерноземной зоны РСФСР и других зон с низким плодородием почв необходима коренная перестройка структуры почв и их механического состава методом агрогеохимического ускоренного окультуривания. В качестве мелиорантов также могут быть использованы местные горные породы и отходы горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Метод ускоренного окультуривания низкоплодородных почв, проверенный в некоторых совхозах Ленинградской области, показал высокую агроэкономическую эффективность.

Предлагаемая читателю книга состоит из трех частей. В I части дано краткое описание генезиса биосфера и почвенного покрова. Во II части показана роль микроэлементов в жизнедеятельности живых организмов и прослежена распространенность микроэлементов в почвенном покрове Северо-Запада РСФСР. В III части книги даны основные положения коренной перестройки низкоплодородных почв нечерноземной зоны агрогеохимическим методом ускоренного окультуривания почв, описаны результаты полевых опытов, приведены оценки

\* Продовольственная программа СССР на период до 1990 года и меры по ее реализации.— Парт. жизнь, 1982, вып. 12, с. 32, 34.

экономической эффективности. Книга завершается перечислением мероприятий по охране почв и природной среды.

Основным материалом книги явились работы автора в области геохимии современного и ископаемого органического вещества, роли гумуса в миграции микроэлементов. Кроме того, автором совместно с почвоведами Ленинградского государственного университета, землеустроителями «СевзапгипроЗема», мелиораторами Северного научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (СевНИИГиМ), геохимиками Всесоюзного научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ) и ПГО «Севзапгеология» было проведено изучение почвенного покрова Северо-Запада РСФСР. Результаты этих исследований легли в основу ряда печатных работ, а также издания серии почвенно-геохимических карт Ленинградской области масштаба 1 : 600 000 [2, 17, 29].

Автор выражает искреннюю благодарность своим коллегам по работе: А. А. Безукладнову, Э. И. Гагариной, В. В. Дедову, В. А. Ксенофонтовой, И. М. Емельяновой, Т. Д. Кащенко, А. Ф. Кулаковой, М. М. Лаврентьевой, Н. Н. Матинян, Л. С. Счастной, О. В. Мамонтовой, В. С. Певзнеру, В. А. Руднику, А. А. Смыслову. Особой признательности заслуживает А. Ф. Кулаккова, принимавшая непосредственное участие в подготовке рукописи.

# ЧАСТЬ I

## ГЕНЕЗИС БИОСФЕРЫ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

### ГЛАВА 1

#### БИОСФЕРА И ЕЕ ГЕНЕЗИС

Развитие всех живых организмов биохимически связано с природной средой, свойства которой определяются составом атмосферы, гидросферы и литосферы. Возникновение биосфера обусловлено появлением жизни на Земле. До этого периода проходило формирование атмосферы и гидросферы за счет летучих компонентов вулканической деятельности, которые на 98 % состояли из водяных паров и на 2 % из газов. В водяных парах присутствовали серная и соляная кислоты, а в газах — легкие предельные углеводороды ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  и др.), азот, аммиак, углекислый газ, окись углерода, хлор, фтор, сернистый газ и др. Водяные пары создавали сильную облачность и повышенную влажность. В атмосфере содержание углекислоты доходило до 95 % и более. При этом атмосфера Земли, вероятно, была похожа на атмосферу современной Венеры, температура которой достигает 500 °С. К моменту зарождения жизни на Земле даже при высоком содержании углекислоты в атмосфере ее температура была ниже 100 °С благодаря огромной водной поверхности океанов и сильной облачности.

Строительным материалом живых организмов являлись абиогенные углеводороды, главным образом непредельные с двойной связью типа этилена. Геохимической средой служили океанические воды. Но и при отсутствии воды могут образовываться многие углеводороды; их присутствие установлено в вулканических газах, межзвездной и межгалактической средах, в атмосфере звезд, в метеоритах и лунной пыли. Таким образом, абиогенные углеводороды широко распространены как в земных условиях, так и в условиях Солнечной системы и галактик.

Наиболее стабильной формой сохранения углерода в тех твердых телах, из которых формировалась наша планета, являлись, как указывает А. И. Опарин [56], соединения углерода с металлами — карбиды, а также графит. Естественные карбиды были впервые обнаружены именно в составе метеоритов в виде характерного для них минерала — когенита, который в химическом отношении является соединением углерода с железом, никелем и кобальтом. Лишь позднее были найдены

и когениты земного происхождения. В частности, в кристаллических вулканических породах Кайнарского хребта Ф. Я. Сапрыкиным были установлены карбиды урана [74]. Основным источником образования карбидов урана и, очевидно, всех когенитов является вулканическая деятельность. Так, для формирования монокарбида урана ( $UC$ ) из метана и тонкодисперсного урана необходима температура от 625 до 900 °С, а для дикарбида ( $UC_2$ ) — до 1200 °С, т. е. температура магмы.

Благоприятной средой для взаимодействия abiогенных углеводородов с аммиаком, водой, сероводородом, железом и другими химическими элементами являлись в то время океанические воды. Как и в наше время, они содержали в своем составе полную гамму химических элементов таблицы Д. И. Менделеева. Благодаря вулканической деятельности в океанические воды поступали в достаточном количестве различные углеводороды, в том числе и непредельного ряда, отличающиеся высокой химической активностью, а также метан, аммиак, сероводород, циан и другие газы. Соединение непредельных углеводородов с водой давало различные спирты; при реакциях с аммиаком образовывались аминокислоты — важнейшие компоненты белковой молекулы.

Особую роль в превращении abiогенных углеводородов в живую материю необходимо отвести фосфору, содержание которого в океанических водах было предостаточным. Abiогенный синтез аденоциантифосфорной кислоты (АТФ) особенно существен, так как эта кислота является основным непосредственным источником энергии у всех современных организмов.

А. И. Опарин считает, что водоемы земной гидросферы до актуалистической эпохи служили первичным «бульоном», где и происходило формирование первичной жизни. Полинуклеотиды, возникшие в этом «бульоне», уже обладали способностью к все убыстряющемуся «саморазмножению» молекул, наделенных определенной вторичной структурой полимерной цепи. Одним из представителей полинуклеотидов, имеющих важное значение для современных живых организмов, является никотинамидадениндинуклеотид (НАД), который как в микробах, так и в высших растениях и животных выполняет роль универсального переносчика водорода в окислительно-восстановительных процессах живой клетки.

Время выхода растений на континент является началом второго этапа развития биосферы. Примитивные живые органические вещества в океанических водах оставили о себе память в архейских известняках, а в протерозойскую эру широкое распространение получили водоросли и различные бактерии, которые стали первыми переселенцами из океанических вод на сушу. В основном это произошло уже в кембрийский период, для которого характерны складкообразование, трансгрессии и регрессии моря; регрессии особенно усилились в девоне.

Первые признаки формирования земной коры относятся к докембрию, а первые признаки почвообразовательного процесса — к кембрию. Небольшие количества мелкозема, образованного в процессе слабого физического и химического выветривания раскристаллизованной горной породы в районах тектонических нарушений, сносились в долины рек, а затем в прибрежные районы, где они и стали местом обитания вышедших из океанических вод в лагуны бактерий и водорослей. К этому времени относится появление простейших земноводных растений, которые приспособились к неустойчивым условиям существования, связанным с трансгрессией и регрессией океанических вод. Впереди мигрирующей растительности в глубь континента перемещались автотрофные бактерии, подготавливающие почву для растений.

Появление растительности на континенте и ее бурное развитие оказали существенное влияние на газовый состав атмосферы. Изменяясь в результате поглощения растительностью углекислоты, атмосфера стала обогащаться кислородом. Повышение содержания кислорода в воздухе и уменьшение содержания в нем углекислоты отразились на климате и в конечном результате на растительности, которая была вынуждена приспосабливаться к этим изменениям, создавая более устойчивые виды. Какое воздействие на газовый состав атмосферы оказывает фотосинтез, можно судить по данным А. А. Ничипоровича [54]. Так, в процессе фотосинтеза современные растения ежегодно усваивают из атмосферы около 170 млрд. т углекислого газа, фотохимически разлагают около 130 млрд. т воды, выделяя из нее в виде свободного газа 115 млрд. т кислорода.

Живое вещество биосфера в благоприятной природной среде находится в состоянии относительного биологического равновесия. Его жизнедеятельность обеспечивается всеми необходимыми питательными веществами и соответствующей геохимической обстановкой: температурой, влажностью, давлением, физико-химическими условиями (водородный показатель pH, окислительно-восстановительный потенциал Eh) водной среды, газов атмосферы, а также их составом и содержанием определенных химических элементов, в том числе и микроэлементов. Жизнедеятельность организмов возможна не при какой-то строго фиксированной концентрации питательных компонентов, а в значительных ее интервалах, при которых поддерживается нормальная регуляция обменных процессов биосферы. В экстремальных условиях геохимической среды (за пределами пороговых концентраций) наблюдаются биологические реакции организмов, приводящие к возникновению мутаций растений и животных, к их различным болезням и даже к гибели.

С повышением содержания кислорода возрастала роль химических процессов выветривания, а уменьшение концентрации углекислого газа приводило к похолоданию и уменьшению влажности — переходу к сухому аридному климату. Изменение

климатических условий под воздействием растительного мира стало буфером для самих растений, которые в процессе эволюции были вынуждены приспосабливаться к изменяющемуся климату. При этом в экстремальных обстановках шло отмирание старых и появление новых видов растений, способных жить в новых геохимических условиях. Так, низкорослые псилофиты девона сменяются в карбоне лесами папоротников и хвощей высотой в несколько десятков метров. Появляются примитивные голосеменные, достигающие в юрское время максимального развития.

В процессе естественного отбора формируется новый класс растений — покрытосеменных, более приспособленных к изменившейся климатической обстановке. С возникновением сезонности климата перед растениями встает необходимость создавать запасы пищи (гемицеллюлоза, клетчатка, основной частью которой являются полисахара, содержащие 50 % и более кислорода). Это приводило к изменению элементарного состава растений, главным образом в сторону увеличения содержания кислорода и уменьшения содержания лигнина. Так, содержание лигнина в растениях пермского возраста составляло 56,8 %, палеоген-неогенового — 32,2 %, в современных — 21—30 %.

Изучение элементарного состава современных растений показало [76], что содержание кислорода в растениях превышает его концентрацию в атмосфере примерно в 2 раза. По элементарному составу древних ископаемых растений хорошей сохранности с использованием коэффициента 1:2 определено содержание кислорода в атмосфере в различные геологические эпохи углеобразования (табл. 1). Следует отметить, что содержание кислорода в атмосфере повышалось неравномерно. Так, от девона до перми оно возросло всего лишь на 32 %, от перми до палеогена — в 2,1 раза, а от палеогена до настоящего времени — в 1,5 раза. Возможно, максимальный перепад в содержании

ТАБЛИЦА 1

Средний элементарный состав остатков растений различных эпох углеобразования и предполагаемое изменение содержания кислорода в атмосфере [76]

Возраст	$W^a$ , %	$A^c$ , %	$V^r$ , %	Элементарный состав растений, % на органическую массу				Содержание кислорода в атмосфере, %
				C	H	N	O	
Девон	20,00	8,51	70,5	80,39	8,96	1,70	8,95	4,5
Ранний карбон	1,20	27,30	33,1	82,80	5,30	1,70	10,20	5,1
Пермь	—	—	—	80,06	4,94	1,75	13,25	6,6
Палеоген — неоген	9,00	6,50	—	65,33	5,60	1,20	27,87	14,0
Четвертичный	8,37	6,85	—	58,74	5,64	1,20	34,42	17,2
Современный	—	—	—	51,48	6,22	1,20	41,10	20,75

кислорода связан с просветлением атмосферы в мезозойскую эру.

Современный этап развития общества характеризуется активным вмешательством человека в природные процессы в локальном и региональном масштабах с целью получения от природы максимальных благ. При этом человечество приходит не только к положительным, но и к отрицательным результатам. Ф. Энгельс предупреждал: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой... Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых» \*.

Резкие изменения геохимической среды сказываются на жизнедеятельности организмов, приводят к повышению их заболеваемости. Наиболее активному воздействию человека подвергается почвенный покров планеты. Изменения осуществляются в основном по трем направлениям.

**1. Следствия инженерно-технических преобразований.** К таким преобразованиям относятся: строительство крупных промышленных предприятий; разработка полезных ископаемых как открытым карьерным способом, так и шахтами с выбросом отвальных пород и организацией терриконов; строительство каналов; сооружение гидроэлектростанций с образованием искусственных морей и водоемов; возведение крупных городов; прокладка железных и автомобильных дорог; мелиорация сельскохозяйственных угодий. Инженерно-технические преобразования нарушают почвенный покров и в большинстве случаев усиливают процессы ветровой и водной эрозии почв. На 1 февраля 1975 г. в стране насчитывалось около 53 млн. га угодий, подверженных водной эрозии (около 36,5 млн. га пашни и 16,5 млн. га естественных кормовых угодий). Оврагами разрушено и исключено из хозяйственного оборота 6,6 млн. га земель [69].

Создание водоемов и орошение больших территорий приводят к подъему уровня грунтовых вод и к изменению их химического состава. Происходят засоление почв, деформация лесовых пород, заболачивание; повышается сейсмичность территории, возрастает подток минерализованных глубинных вод. Мелиорация изменяет состав растительности, ареалы обитания животных и других организмов. Открытый способ добычи полезных ископаемых приводит к весьма серьезным нарушениям природных комплексов; как указывает П. В. Мельников [1973 г.], при этом в корне изменяется структура поверхностной оболочки земной коры на глубину 200—400 м, а в перспективе — до 500—700 м. По данным ООН при строительных и вскрышных работах ежегодно перемещается 2—3 трлн. т горных пород

\* Маркс К. и Энгельс Ф. Сочинения. Т. 20. М., Госполитиздат, 1961, с. 495—496.

[66]. Большие площади занимают хвостохранилища, поля фильтрации, пруды и отстойники. Для новых городов, промышленных предприятий, гидроузлов, транспортных магистралей изымаются миллионы гектаров сельскохозяйственных земель, в том числе пахотных.

А. Н. Рябчиков [1972 г.] считает, что изменение окружающей среды производством идет намного быстрее, чем естественное восстановление нарушенного экологического равновесия. Если не принимать меры по уменьшению загрязнения среды, по рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов, то может произойти необратимое планетарное нарушение равновесия в геосфере. По данным Л. В. Моторина и В. А. Овчинникова [1975 г.], городские и сельские строения, наземные коммуникации, горные разработки и водохранилища занимают сейчас 4 % поверхности суши, к 2000 г. эти площади возрастут до 15 %. При годовом приросте выработки электроэнергии 8 % через 160 лет она может превысить количество поглощаемой геосферой солнечной энергии. Ежегодный прирост сжигания горючих ископаемых на 5 % через 160 лет понизит долю свободного кислорода в воздухе до критических для человека значений.

**2. Загрязнение почвенного покрова пылевыми и дымовыми выбросами.** Такие выбросы содержат различные металлы и их химические соединения, окислы азота, фосфора, хлора, фтора и др. По данным зарубежной печати радиус зоны заражения может составлять 12—30 км и более. Среднее содержание тяжелых металлов в этой зоне в 10 и более раз выше, чем в незараженной. В песчаных, хорошо промываемых почвах ядовитые химические элементы мигрируют в грунтовые воды и заражают их. Почвы же, богатые коллоидами (глины) и гумусом, обладают способностью накапливать тяжелые элементы. При этом глинистые компоненты механически адсорбируют их, а гуминовые кислоты образуют с этими элементами комплексные соединения, легко усваиваемые растениями. Увеличению накопления способствует слабокислая и нейтральная среда. Установлено, что максимальное заражение растений тяжелыми металлами происходит ранней весной (молодые побеги) и осенью.

Особенно большие концентрации в атмосфере промышленных выбросов приводят к полному уничтожению растительного покрова — к образованию антропогенных пустошей. В большинстве же случаев наблюдается значительное изменение растительного покрова вследствие сокращения числа видов сообщества, изменения его видового состава, появления травянистой растительности, более стойкой к элементам-ядам. Весьма опасны дымовые выбросы алюминиевых, керамических и некоторых других предприятий, содержащие значительное количество фтористого водорода, фтористого кремния и других соединений фтора.

Серьезную опасность для здоровья человека и животных представляют загрязняющие почву различные химические средства борьбы с сорняками и вредными насекомыми — пестициды, инсектициды, гербициды. Отрицательное их действие оказывается не только на росте и нормальном развитии растений, но и на жизнедеятельности микроорганизмов почв. Обладая высокой биологической активностью, эти вещества проникают в глубокие слои почвы, загрязняют грунтовые и питьевые воды. Накапливаясь в растениях, они создают серьезную угрозу отравления для человека и животных.

**3. Загрязнение грунтовых и поверхностных вод компонентами удобрений.** Механическими свойствами почв определяются движение воды, ее сток и испарение. Поверхностный сток воды в основном связан с почвами тяжелого механического состава, а грунтовый сток — с почвами легкого механического состава. Почвенные воды являются одним из основных источников питания рек. Из почвенного покрова водами выносятся минеральные и органические компоненты почв. Среднее содержание минеральных соединений в речной воде составляет 0,3—0,4 г/л; присутствуют в воде также гумусовые вещества. Количество твердых взвешенных частиц достигает в речной воде 2—10 г/л. Все эти минеральные и органические вещества являются продуктами выветривания почв и горных пород на сушке [35].

Сельскохозяйственная деятельность человека и особенно мелиоративные работы способствуют увеличению выноса не только природных продуктов выветривания, но и элементов минеральных и органических удобрений, а также отходов животноводческих ферм. Почвенный дренаж приводит к интенсивному вымыванию внесенных в землю питательных веществ. Потери фосфора вызываются в основном эрозией, его вымывание незначительно. Калий теряется при дренаже в основном из почв легкого механического состава. При водной, ветровой и ирригационной эрозии из почвы вымываются гумус и тонкодисперсные фракции, которые богаты элементами питания, обусловливающими почвенное плодородие.

По данным П. С. Трегубова [83], в нечерноземной зоне значительная часть сельскохозяйственных угодий на склонах эродирована или эрозионно опасна. Водной эрозии способствуют: большая расчлененность рельефа, слабая водопрочность структурных агрегатов почвы, ее водопроницаемость и влагоемкость, глубокое промерзание и медленное оттаивание, образование к началу снеготаяния ледяного экрана на поверхности почвы, мощный снежный покров, его интенсивное таяние, сток талых вод, ливневые осадки и т. д. Плодородный слой на нечерноземных почвах разрушается интенсивнее, чем на черноземных, и ухудшение их качественного состояния наступает значительно быстрее. Смыт почвы составляет 50 млн. т в год, при этом теряется 1 млн. т гумуса, 54 тыс. т азота, 162 тыс. т фосфора, 54 тыс. т калия. Потери кальция вследствие эрозии варьируют

от 7 до 515 кг/га в год, магния — от 85 под зерновыми культурами и до 230 кг/га в год на парующих землях. Водная эрозия приводит к значительному обеднению почв микроэлементами, их остается в 1,5—2 раза меньше, чем в несмыываемых почвах.

В связи с развитием промышленности и сельского хозяйства, а также вследствие сброса сточных вод в реки и крупные водоемы сильно возросла загрязненность вод морей и океанов.

## ГЛАВА 2

### ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ И ЕГО ГЕНЕЗИС

Формирование почвенного покрова в процессе геологической истории Земли происходило в несколько этапов, связанных в основном с эволюцией климата, этапами тектонического развития земной коры и изменением газового состава атмосферы. В геологической жизни Земли принимают участие две силы, взаимодействующие друг с другом: 1) внутренняя энергия Земли, вызывающая горообразование и тектоническое нарушение горных пород; 2) внешняя энергия Солнца, воды, ветра, а также химического состава атмосферы, вызывающая физическое и химическое выветривание с образованием осадочных пород, которые являются основой формирования почвенного покрова.

Существуют четыре типа литогенеза: гумидный, ледовый, аридный и эфузивно-осадочный. Здесь рассматривается гумидный тип формирования осадочных пород, который возникает в условиях, когда метеоритные осадки преобладают над испарением независимо от климатического режима. Этот тип литогенеза имеет несколько подтипов: тропический, субтропический, умеренный, холодный, влажный. Основным процессом выветривания горных пород в современном гумидном климате является химический, в меньшей степени — физический. Однако в древние эпохи, когда в атмосфере Земли была более низкая концентрация кислорода, превалировал физический процесс выветривания.

Скорость химического выветривания связана в основном с температурой, количеством осадков и содержанием кислорода в атмосфере. Так, повышение температуры на 10 °С ускоряет химическую реакцию в 2—2,5 раза, а с увеличением метеоритных осадков усиливаются процессы гидролиза, разрушения горных пород и выноса продуктов выветривания. Естественно, скорость и глубина химического выветривания зависят от количества кислорода в составе атмосферы, которое изменялось в сторону повышения в процессе геологического развития Земли.

Важным фактором ускорения процесса химического и физического выветривания является активный тектонический режим,

который способствует раскристаллизации горных пород. Если платформенным формациям присущи малые мощности и олигомиктовость обломочных пород, развитие химобиогенных накоплений, изометричность формы структур при огромном площадном развитии, то в геосинклинальных формациях наблюдаются большие мощности, мезо- и полимиктовость обломочных пород, преобладание терригенных компонентов, линейная удлиненность структур и меньшая площадь развития. При ослаблении или пассивности тектонического режима происходит формирование толщ платформенного типа с олигомиктовыми, иногда чисто кварцевыми песчаниками, с широким развитием карбонатных пород.

Н. М. Страхов [81] выделяет три этапа эволюции климатического режима в послепротерозойской истории Земли, которые в общем отвечают этапам тектонического развития планеты. В течение каждого этапа, который длится 150—160 млн. лет, наклон плоскости экватора и положение оси вращения Земли менялись, что особенно отчетливо проявлялось в конце каждого тектонического этапа; в частности, это наблюдалось в раннекарбоновой и плинсбах-досреднеюрской эпохах. В этих случаях происходила резкая гумидизация климата вследствие сокращения аридных зон. Другое положение устанавливается в позднепермскую, позднеюрскую и палеогеновую эпохи, когда наблюдалось расширение аридных и сокращение гумидных зон.

Формирование почвенного слоя впервые происходило в океанических водах. Наличие древнего почвенного покрова на континенте определяется произраставшими здесь растениями. Первые простейшие земноводные растения — псилофиты — относятся к кембрийскому периоду. Они произрастали в прибрежной зоне океанических вод и в периоды регрессии моря (отступание от суши) оказывались недолгожителями континента вследствие неприспособленности к континентальным условиям жизни. Потребовалось продолжительное время, чтобы земноводные растения-псилофиты смогли в процессе эволюции стать жителями суши.

Массовый выход псилофитов из океанических вод на континент был осуществлен только в среднем девоне. Следы этой миграции обнаружены в районе Кузнецкой котловины в виде бурых углей — барзасской рогожи, состоящей в основном из слабо гумифицированных остатков псилофитов. Время от кембрия до среднего девона являлось как бы инкубационным периодом, когда эти растения в результате регрессии моря оставались в лагунах, где условия больше напоминали морские, чем континентальные. Подтверждением этого является солевой состав водной вытяжки из барзасской рогожи, изученный Ф. Я. Сапрыкиным [76]:  $\text{NaCl}$  — 0,0046;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  — 0,0007;  $\text{CaSO}_4$  — 0,0136;  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  — 0,035 мг-экв. Солянокислая вытяжка из 100 г барзасской рогожи содержала:  $\text{CaO}$  — 1,39;  $\text{MgO}$  — 0,183;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 3,792;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 1,565;  $\text{SO}_3$  — 0,280;  $\text{P}_2\text{O}_5$  — 0,096 г.

Пока первые земноводные растения находились в лагунных инкубаторах, в прибрежных условиях начинался почвообразовательный процесс, которому способствовали, с одной стороны, донный почвенный слой, оставшийся после регрессии моря, и привнос с континента мелкозема, а с другой — появление автотрофных бактерий, приспособленных к существованию в неблагоприятных гидротермальных условиях. В. А. Ковда [35] высказал предположение, что автотрофные бактерии являлись предками водорослей и высших растений и были широко распространены в протерозое. Выход автотрофных бактерий на континент осуществлялся в периоды трансгрессии и регрессии моря. Они мигрировали в глубь континента по речным отложениям и способствовали формированию благоприятных условий для развития высших растений на суше.

Процессы почвообразования и развития жизни тесно связаны с формированием коры выветривания и толщи осадочных пород по схеме: горные породы — кора выветривания — осадочные породы — почвы — растения — животные — человек. Скорость процесса почвообразования и качество почв, как указывалось выше, зависят от климатического режима.

**1. Каледонский климатический этап.** Этот этап продолжался от кембрия до конца девона. Для него характерны процессы складкообразования, трансгрессии и регрессии моря, причем регрессии были особенно значительными в девоне. На Русской платформе в девоне, по данным А. А. Борисова [5], был сухой антициклический климат. Субтропический влажный климат отмечен в Кузбассе; в юго-восточных районах СССР сохранился тропический климат.

На платформах, не затронутых тектонической деятельностью, процесс почвообразования отсутствовал, так как кристаллические нераскристаллизованные породы не поддавались физическому выветриванию, а малое содержание кислорода в атмосфере обусловливало медленное и слабое развитие химического выветривания; образовавшийся при этом в небольших количествах мелкозем быстро сносился в палеореки.

На районы развития древних почв указывают места захоронения ископаемых органических веществ растительного происхождения. На территории СССР самым древним захоронением органических остатков является барзасская рогожа девонского возраста, найденная в Кузбассе. Почвообразующими компонентами этого района были продукты в основном физического выветривания пород окружающих депрессий и возвышенностей, представленных гравием, песками, алевритами и частично глинами.

**2. Герцинский климатический этап.** Этот этап охватывает каменноугольный и пермский периоды палеозоя и триасовый период мезозоя. Отличительными его особенностями являются: а) активный складкообразовательный процесс, приуроченный к средне-позднекаменноугольному и раннепермскому

времени; б) колебательный тектонический режим в каменноугольный период, что приводит к погружению, а затем к поднятию Русской платформы; в) смещение Северного полюса на север до параллели  $40^{\circ}$ ; г) повышение содержания кислорода в атмосфере перми до 6,6 %, что на 25 % больше, чем было в девоне и раннем карбоне; это значительно усилило процессы химического выветривания горных пород; д) миграция почвенного и растительного покрова по речным долинам в глубь континента.

Развитие почвенного покрова в раннем карбоне проходило на породах как прибрежно-морских фаций (Западный Донбасс), так и речных фаций (Подмосковный бороугольный бассейн). Почвообразование на породах прибрежно-морских фаций было ограничено небольшой территорией, в то время как на речных фациях этот процесс захватывал районы от Подмосковья до Северного Урала. Миграция континентальной растительности следует за развитием почвенного покрова вдоль долин палеорек. Основными почвообразующими породами являлись терригенные отложения бобриковского горизонта.

Почвообразующими породами Донбасса были отложения прибрежно-морских, дельтовых, пойменно-русловых и озерно-болотных фаций. По данным Л. Г. Рекшинской и А. П. Феофиловой [72], породы, лежащие ниже угольного пласта, существенно переработаны древним почвообразовательным процессом и представляют собой новообразованное тело, во многом сходное с современными почвами гидроморфного ряда. Установлено также, что почвы широко развиты и в безугольных интервалах.

Характерной особенностью ископаемых почв Донбасса является наличие в них почвенного профиля с горизонтами, отличающимися друг от друга генетическими признаками. Так, горизонт A имеет более темную окраску благодаря насыщенности гумифицированными корневыми остатками каменноугольной флоры. По гранулометрии он более тонкозернистый, что в значительной мере связано с процессами почвенного оглеения и фракционирования обломочного материала. Широко развиты разнообразные текстуры оптически ориентированных глин. Часто содержится пирит, развивающийся по корневым остаткам и в цементе. Горизонт B относительно более светлый, грубозернистый и плотный, с вертикальными корневыми остатками, которые обычно замещены оптически ориентированными глинами и карбонатом. Характерно присутствие колломорфного глинистого материала, связанного с корневыми каналами. Слой содержит карбонатные конкреционные образования, в основном железистого компонента.

В конкретных почвах наиболее зрелого облика кроме основных горизонтов выделяются промежуточные (AB, BC), а внутри горизонта A прослеживается слой A<sub>0</sub> типа лесной подстилки. Для горизонта A характерно относительно понижен-

ное содержание щелочных и щелочноземельных элементов, залегающего железа (исключая пиритное), кремнезема и углекислоты и повышенное содержание органического углерода, пиритного железа и частично алюминия. В горизонте *B*, как правило, фиксируется максимум содержания железа, магния, марганца и кальция в карбонатной форме. Глинистые минералы в материнских породах представлены ассоциацией: гидрослюды, каолинит, примесь хлорита и смешанослойные образования гидрослюдисто-монтмориллонитового ряда. Вверх по профилю количество хлорита уменьшается (иногда до полного исчезновения) и часто наблюдается увеличение содержания каолинита, а в смешанослойной фазе иногда растет количество разбувающегося компонента.

В Подмосковье почвой древних торфяников является вязкая глина, неслонистая, со слабой алевритистой каолинит-гидрослюдистой массой. Иногда отмечаются светлые линзочки каолинита. Почва пропитана гумусом с прослойками углистого вещества с явными признаками неразложившегося растительного остатка. На Ушаковском участке почвы пластов I и III включают вязкую серую глину, в составе которой встречаются водоросли, много микро- и макроспор хорошей сохранности. В верхнем горизонте наблюдается сульфидная минерализация.

Известно, что в карбоне произошли большие изменения в органическом мире. На смену низкорослым земноводным псилофитам пришли папоротники-лепидофиты (чешуйчатоствольные), плауновые, а также споровые растения — каломиты и клинолисты, родственные современным хвощам. При анализе остатков растений раннекарбонового возраста из коллекции А. А. Любера (табл. 2) впервые было установлено наличие коры у лепидодендровых (*Lepidodendron*), что указывает на похолодание климата в это время на территории Средней Азии. В позднем карбоне появились специфические ледниковые образования, покрывшие всю площадь Капской мульды (Южная Африка). Морена, по описанию Н. М. Страхова [81], располагается здесь на весьма неровной поверхности докембрия с резким рельефом — крупными выступами и глубокими долинами. На юге тиллитовый горизонт имеет характер озерно-ледниковых отложений. Особенностью тиллитовой толщи является расчленение ее на несколько моренных горизонтов, разделенных безвалунной глиной.

В Южной Америке ледниковые образования получили название серии Итараре. Пространственно они локализуются на южной оконечности платформы и частично в прилегающих районах геосинклинальной зоны (Южная Аргентина). Мощность свиты Итараре колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Встречаются пласты ленточных и валунных глин; в нескольких прослоях глин установлены остатки морской фауны. Тиллиты в основной своей массе рассматриваются как донные морские отложения. Во всех отношениях, как ука-

зывает Н. М. Страхов [81], позднекарбоновое оледенение Южного полушария строго аналогично четвертичному оледенению. В обоих случаях оледенение было неоднократным и ледниковые эпохи перемежались с межледниковыми.

Пермский период герцинской климатической эпохи характеризуется медленным смещением Северного полюса. Развивается голосеменная флора (хвойные, цикадовые, гинкговые); исчезают каломиты, лепидодендроны и многолетние папоротники.

ТАБЛИЦА 2  
Химическая характеристика растительных остатков  
раннего карбона

Растительные остатки	$V^r$ , %	Элементарный состав, % на органическое вещество				
		C	H	N	O	N+O
<i>Calamites</i> sp., стволы	34,91	78,57	4,92			16,51
<i>Calamites suckovi</i>	—	83,46	5,05			11,49
<i>Calamites</i> sp.	33,29	83,82	5,56			10,62
<i>Calamites</i> sp.	29,30	86,67	5,45	1,80	6,08	
Среднее по <i>Calamites</i>	32,50	83,13	5,24	1,80	9,83	
<i>Lepidodendron</i> sp.	29,80	86,38	5,44	1,63	6,55	
<i>Lepidodendron</i> sp., кора	33,32	83,33	5,28			11,39
Среднее по <i>Lepidodendron</i>	31,60	84,85	5,36	1,63	8,16	
<i>Pteridospermae</i> , рахисы	35,48	81,72	5,09			13,19
<i>Pteridospermae</i>	29,80	86,90	5,40	1,75	5,95	
Среднее по <i>Pteridospermae</i>	32,64	84,30	5,23	1,75	8,72	
<i>Sphenopteris</i> sp.	35,91	82,07	5,23	1,70	11,00	
Среднее по растениям	33,10	83,80	5,30	1,70	9,20	

Более четко проявляются климатические зоны; ослабляется солнечная активность; в связи с увеличением содержания кислорода в воздухе усиливаются процессы химического выветривания и возрастает роль платформ в формировании почвенного покрова, чему во многом способствовало поднятие Русской платформы.

Почвообразовательный процесс и развитие растительного покрова отрываются от прибрежно-морских территорий влажного тропического климата и перемещаются в глубь континента — в районы межгорных впадин с субтропическим климатом. Одним из таких районов является Кузбасс; его территория

представляла собой обширную межгорную проточную впадину, центральные части которой были заняты пресным водоемом типа современного Ладожского озера. По периферии озера, как пишет Н. М. Страхов [81], располагалась полого наклоненная к нему плоская аллювиальная равнина, по которой текли многочисленные реки, оставившие после себя ленты аллювия. В удаленной от озерной котловины горной части наблюдались делювиально-пролювиальные отложения, состоящие в основном из глин и песков — базы почвообразования. Режим колебательных движений выравнивал рельеф и создавал благоприятные условия для заболачивания обширных пространств.

В нашем распоряжении имелась одна проба окаменевших растительных остатков, найденных геологом В. Г. Лепехиной в районе Кузбасса на правом берегу р. Ина в ерунаковской свите. После освобождения от карбонатного цемента остатки были определены как древесина араукарии (*Araucarioxylon krausii*).

#### Состав (%) окаменевшей древесины позднепермского возраста

##### Элементарный состав

C	80,06
H	4,94
N	1,75
O	13,25

##### Битумоид

Бензольный	0,25
Спиртобензольный	0,37

##### Групповой состав

Водорастворимые и легкогидролизуемые вещества	10,8
Гуминовые кислоты	0,4
Фульвокислоты	15,8
Лигнин	59,1
Целлюлоза	13,9

В сравнении со средним элементарным составом растительных остатков раннего карбона в поздней перми наблюдается уменьшение содержания углерода и водорода и увеличение кислорода. В групповом составе отмечается высокий процент лигнина (59,1 %).

Триасовый период является временем окончания герцинского климатического режима и характеризуется наиболее спокойным тектоническим режимом. Северный полюс смещается медленно, занимая положение 42—44°. Климат территории СССР, как пишет А. А. Борисов [5], большей частью умеренно континентальный. Субтропическая зона занимает Дальний Восток, умеренно теплая континентальная — часть Сибири и северную половину Европейской части территории СССР. Для континентальной зоны характерны лесостепи и степи со средней годовой температурой 12 °C при летней температуре 20—25 °C и влажности 50—55 %. Тропическая — субтропическая зона имеет среднюю годовую температуру 16—12 °C и сравнительно сухое жаркое лето.

В растительном мире наблюдается окончательное вымирание палеозойской флоры; широко распространяются хвойные, цикадовые и гинкговые. Начиная с перми резко проявляется ксерофитизация климата, охватывающая и тропическую зону. Параллельно с засушливостью климата усиливается тенденция к похолоданию.

**3. Альпийский климатический этап.** Этот этап продолжается до настоящего времени. Его характерной особенностью является усиление похолодания вплоть до оледенения. Содержание кислорода в составе атмосферы повышается с 6,6 % в перми до 14 % в палеоген-неогеновое время. Это значительно ускорило процесс химического выветривания горных пород.

Благодаря активизации тектонического режима в плинсбахе — средней юре создаются благоприятные условия для развития почв и растительного покрова, о чем можно судить по запасам угля. При этом 72,8 % углей приходится на районы с умеренным влажным климатом и только 27,2 % на районы с субтропическим влажным климатом. В поздней юре и раннем мелу органическое осадконакопление, а следовательно, и почвообразование в основном также происходит в умеренном влажном климате. Юрская флора представлена в основном голосеменными, которые достигли своего расцвета в начале мела.

Хвойные и гинкговые были, очевидно, единственными деревьями в мезозое. К концу мела происходит массовая гибель влаголюбивых голосеменных растений, которая продолжается и в палеогене. Причинами этого были изменение газового состава атмосферы в сторону увеличения концентрации кислорода, ксерофитизация климата и уменьшение облачности. Все это, как пишет С. И. Иванов [23], способствовало массовому проникновению и воздействию на земную поверхность ультрафиолетовых лучей. В этих условиях не приспособленные к новой обстановке голосеменные растения получали сильные ожоги от ультрафиолетовых лучей; в местах ожогов растения выделяли смелообразное вещество, которое временно отодвигало их гибель. Следы массового смоловыделения обнаруживаются в наше время в виде ископаемых янтарей, встречающихся на побережье Балтийского моря и на Украине, а также в виде копаловых смол, установленных в палеоген-неогеновых углях Дальнего Востока.

Появившаяся на смену голосеменным растениям флора покрытосеменных была лучше приспособлена к новым климатическим условиям. Эти растения обладали развитой корневой системой, удовлетворяющей их потребность во влаге, а пышная широколистенная крона в достаточной мере обеспечивала растения углекислотой из воздуха. Листья многих растений были покрыты воскообразным веществом, спасающим от ожогов. Первые покрытосеменные состояли в основном из древесных пород умеренно теплого климата; в палеогене появляется кустарничковая и травяная растительность.

Нам не представилась возможность исследовать растительные остатки мелового возраста, но при изучении каменных углей Ленского бассейна, и в частности Чечумского месторождения, в составе битумоидов А и С установлено наличие воска [77, 79]. Исходным растительным материалом этих углей являются покрытосеменные растения. Следует отметить, что воск спор раннекарбоновых растений в процессе гумификации легко разлагается. Это указывает на простое строение раннекарбонового воска; по-видимому, он только защищал споры от микроорганизмов в условиях сильно увлажненного климата. Воск же покрытосеменных растений юрского и мелового возраста, а также современных растений имеет более сложное строение.

Как пишет А. А. Борисов [5], климат олигоцена был очень влажный и теплый, соответствующий современному жаркому климату. В миоцене он ухудшается, но все еще мягче современного умеренного климата. В плиоцене появляется пыльца травянистых растений. Количество покрытосеменных растений достигает более 25 000 видов, в то время как хвойных насчитывается всего 400 видов. Класс однодольных представлен очень скучно, свое развитие он получает только в конце неогена и продолжает существовать в четвертичный период. Начавшиеся в меловое время орогенные процессы продолжались и в палеогене—неогене. Они усугубляли ксерофитизацию (засушливость) и способствовали снижению температуры, в результате чего сложились условия, приведшие к оледенению, а в современную эпоху — к существованию арктических областей.

В умеренных поясах тропические и субтропические растения сменяются листопадной флорой, возникают степные и лесостепные пространства. В конце неогена появляется растительность тайги и тундры; север континентов покрывается хвойными лесами, меняется и состав растений.

Почвообразующими породами палеогена на Дальнем Востоке в районах древних торфяников являются аргиллиты, алевролитовые аргиллиты, каолинизированные песчаники, сильно измененные почвенными процессами. На Артемовском и Тавричанском угольных месторождениях в почвообразовании принимали участие продукты вулканической деятельности, базальтовые конгломераты, сменяющиеся в дальнейшем песчано-глинистыми осадками с включением вулканического пепла. Основная масса почвообразующих пород в этом районе представлена тонкодисперсным карбонатно-глинистым веществом сидерит-каолинитового состава. Верхняя часть почвенного разреза обогащена гумусом и растительным детритом. На Украине почвообразующими породами Днепровского буроугольного месторождения являются песчано-глинистые отложения и дресва.

Похолодание климата и оледенение в плейстоцене затронули огромные пространства Евразии и Северной Америки, что привело к понижению уровня Мирового океана на 100 м и более. Резко сократилось испарение с поверхности океана как

из-за уменьшения его акватории, так и вследствие понижения температуры воды. Это в свою очередь отразилось на переносе влаги с океана на сушу и усилило аридизацию территорий, расположенных к югу от ледниковых покровов. В ледниковый период на территории Русской равнины формировались два типа почв: сингенетический, развивавшийся на территориях, не охваченных оледенением, но примыкающих к ледникам, и эпигенетический, при котором образование почв проходило в фазы межледниковых.

**Сингенетические почвы.** Процесс почвообразования в ледниковый период проходил нормально; только в районах, примыкающих к морским и океаническим бассейнам, этот процесс нарушался наносами мелкоземов, приносимых ветром с обширных шельфовых территорий, обнажившихся в результате сокращения водного пространства. Такие почвы изучены на юге страны, в частности в береговых обрывах Азовского моря [18].

Лёссовидные отложения территории Советского Союза исследованы Н. С. Балаховской [1982 г.]. Они установлены в центре и на юге Русской равнины, в Средней Азии и на Северо-Востоке. Лёссовидные отложения формировались в пустынях, полупустынях, степных, лесостепных и тундростепных ландшафтах. Закономерны региональные различия в палинологии позднеплейстоценовых лёссов. Так, для Северо-Востока характерны тундровые и тундростепные растения, для Молдавии и юга Украины — степные и лесостепные. Наибольшее разнообразие палиноспектров свойственно лёссовидным породам центральных районов Русской платформы. Для лёссов Средней Азии характерны пустынные и степные спектры. По данным С. П. Ломова [1982 г.], мощность лёсово-почвенных разрезов в Таджикистане достигает 100—200 м, а их стратиграфический диапазон охватывает плейстоцен и эоплейстоцен. В эоплейстоценовой части разреза насчитывается 26—27 погребенных почв, а в плейстоценовой — 10—11, т. е. в первом случае процесс формирования почв превалировал над образованием лёссов, а во втором почвообразование сопровождалось декарбонизацией массы и аккумуляцией карбонатов в нижней части почвенного покрова, в общих чертах похожего на карбонатные коры Средиземноморья.

Морфологическое строение погребенных почв показывает, что они формировались в режиме потепление — климатический оптимум — похолодание. Каждой климатической фазе соответствует начальная, оптимальная и завершающая стадии почвообразования. А. С. Сычева [1982 г.] выделяет пять фаз формирования палеопочв перигляциальных областей Русской платформы.

1. Протофаза. Формирование материнской породы (лесса) и дневной поверхности будущей почвы. Фаза совпадает с концом холодной эпохи. Процесс почвообразования заторможен.

2. Фаза прогрессивного развития. Постепенное становление

почвенного профиля от материнской породы до зрелой почвы. Увеличение мощности почвы (рост ее вниз) в результате интенсификации таких почвенных процессов, как вынос карбонатов, оподзоливание, лёссиваж и т. д.

3. Фаза оптимального развития. Состояние динамического равновесия с оптимальными условиями межледниковых. Увеличение мощности почвенного профиля вследствие сложного сочетания элювиально-иллювиальных процессов и гумусонакопления.

4. Фаза регрессивного развития. Заземление процессов почвообразования в результате ухудшения климатических условий во второй половине межледниковых. Однако скорость осадконакопления увеличивается, что отражается в профиле палеопочв как постепенный переход от горизонта *A* к лежащим выше лёссам.

5. Фаза погребения. Исключение почвы из активного биологического круговорота веществ и энергии, но вовлечение ее в геологический процесс. Эта сложная и длительная фаза протекает в последующие холодные и теплые эпохи и формирует педометаморфические признаки.

Фазы, сменяя друг друга, образуют полигенетический профиль палеопочвы. В основном в строении палеопочвы запечатлены признаки оптимальной фазы, и то не полностью, так как они претерпевают изменения в последующие этапы развития.

**Эпигенетические почвы.** Межледниковые почвы, обнаруженные на территории СССР, представлены главным образом гидроморфными типами, формировавшимися вблизи уровня грунтовых вод на пониженных участках рельефа. Они сохранились до наших дней благодаря захоронению осадками рек, озер, морей. В современном рельефе эти почвы чаще всего обнаруживаются в высоких террасовых уступах рек, озер, по размывающим оврагам, встречаются под современными отложениями торфа, отделенными от погребенных торфов минеральной толщей. Последнее обстоятельство подтверждает идентичность древнего моренного рельефа современному рельефу.

Межледниковые торфяники в Белоруссии распространены также широко, как и в средней полосе РСФСР (в лесной зоне), и занимают древние озерные котловины рисской морены и термокарстового рельефа. Большинство межледниковых торфяников Западной Сибири обнаружено в высоких обрывистых берегах рек, по течению которых они тянутся иногда на несколько десятков километров. Мощность минеральной кровли над некоторыми торфяниками достигает 2—6 м.

В Латвии в долине р. Даугава в первой надпойменной террасе вскрыты молодые отложения погребенных торфов голоцен, формирование которых относится к концу атлантического периода. Образовались эти торфяники в старичных водоемах Даугавы и заносились ее пойменным аллювием. На Украине молодые погребенные торфяники голоцен найдены в поймен-

ных террасах рек; торфяники позднечетвертичного интерстадиала встречаются на песчаных террасах, а торфяники позднечетвертичного межледникового сохранились в районах древних проточных долин; древнейшие торфяники среднечетвертичных межледниковых обнаружены на пониженных водно-ледниковых равнинах.

Формирование торфяников микулинского межледникового на территории Европейской части СССР проходило однотипно. Согласно пыльцевым диаграммам в нижней части торфяников много пыльцы березы, сосны, что указывает на суровые условия климата. К верху разреза увеличивается содержание пыльцы теплолюбивых пород — вяза, липы, дуба (до 25%). Количества пыльцы широколиственных пород в микулинских торфяниках гораздо больше, чем в верхних горизонтах современных торфяников, т. е. в то время теплолюбивые древесные породы играли более важную роль, чем в настоящее время, и климат был теплее.

Исследования Н. Я. Каца [1959 г.], Л. Н. Вознячука [1956 г.], Д. К. Зерова [1947 г.] показали, что в середине микулинского межледникового существовал климатический оптимум с господством лесов из дуба. В начале же и в конце этого интерглациала климат был суровее и преобладали хвойные леса. Растительность межледниковых болот отличалась большим разнообразием и была близка к растительности современных болот. Это относится и к торфяникам Западной Сибири.

Формирование межледниковых торфяников (торфяных почв) происходит следующим образом. В течение холодного периода в первую фазу в водоемах начинают отлагаться озерные суглинки или песчанистая гиттия с остатками обитателей водоемов (ткани нимфейных, зубца телореза, диатомей разных видов и др.). Озерный суглинок затем перекрывается органической гиттией, которая отлагается в начале второй фазы во время максимума дуба и орешника. В третью фазу в гиттии попадаются семена термофильных растений — бразении и наяд, а также орешки и пыльца крупнолистной липы. Часто отложения гиттии переслаиваются минеральными (песчаными) наносами, свидетельствующими о периодической смене уровней воды в водоемах. Ко времени максимума дуба образовывались гипновые и гипново-сфагновые болота; водоемы в значительной мере заторфовывались, что свидетельствует о высоком обводнении межледниковых торфяников в первые периоды их развития.

После максимума дуба в фазу похолодания фациальный состав торфяных отложений резко меняется, гипновый торф уступает место или сфагновому (*Sph. centrale*), или древесно-сфагновому. Начало спада кривой дуба и исчезновение *Dulichium* указывают на понижение температуры [Кац Н. Я., 1959 г.]. В фазу граба, смешанного широколиственного леса и ольхи сфагновый или древесно-сфагновый вид торфа сменяется осоковым либо древесным. В последующую фазу сосны и ели от-

лагается древесный торф, часто с примесью верховых сфагновых мхов; торф имеет повышенную степень разложения, т. е. он явно подвергался диагенезу. В дальнейшем торфообразательный процесс прекращался и торфяники перекрывались минеральными наносами. Формирование древесных торfov на толще гипновых ясно свидетельствует о некоторой дренированности межледниковых торфяников.

Согласно обобщению фактического материала Н. Г. Коноплевой и В. Н. Банбенковым на Северо-Западе РСФСР образование торфяников получило наибольшее развитие с позднего плейстоцена. К этому времени большая часть территории была выровнена благодаря широкому распространению суглинистых отложений; поверхность региона отличалась значительной обводненностью, вызванной крупными межледниковыми трансгрессиями и разливами вод деградировавших ледников; для климата была характерна повышенная влажность. Все это создало предпосылки для развития торфяников.

Выделяются несколько районов, характеризующихся интенсивным торфообразованием и консервацией органогенных осадков: Вологодская возвышенность, Северо-Двинская и Онежско-Вепская депрессии, район крупных озер — Ладожского, Онежского, Ильмень, западные отроги Валдайской возвышенности, побережья Белого моря и Финского залива. Если в среднем плейстоцене формирование погребенных торфяных залежей проходило исключительно в глубине континента (Вологодская возвышенность), то с микулинского межледникового этого процесс захватывает новые территории. В самое теплое время этого периода заметно изменяются ландшафтные обстановки: исчезает тундра, далеко на север проникают хвойные леса, а в Южную Карелию и Архангельскую область — хвойно-широколистственные. С повышением температуры сокращается площадь открытых водоемов, многие из которых мелеют и заторфовываются. Пространственное размещение современных болот имеет несомненную унаследованность от погребенных. На Вологодской и других возвышенностях, где заторфованность приурочена к межхолмным понижениям, заболоченность сейчас, как и раньше, невелика.

Стратиграфически межледниковые торфяники напоминают современные, однако почти все погребенные торфяники лишены верхних слоев, что связано в основном с движением ледниковых масс, которые срезали торфяник на различную глубину. Поэтому вскрываемый торфяник представлен обычно неполным циклом разреза и сложен только гипновым торфом или только древесным. Возможны также случаи, когда торфяная залежь не смогла завершить полный цикл своего развития вследствие изменения уровня водоема или смены направления сноса обломочного материала и преждевременного захоронения торфяной залежи. Так, в Архангельской области образование торфяников началось после спада морских вод. Погребенный

торф здесь маломощный (до 1,3 м) и представлен древесно-осоково-сфагновыми видами.

Формирование торфа онегоозерского межледникова я и позднеледникова я обусловлено окончательной деградацией ледникового покрова, развитием мелких, слабопроточных водоемов в районах Ладожского и Онежского озер и современного Беломорско-Балтийского побережья. Палинологические спектры озерно-болотных отложений характеризуются элементами тундровой, лесной и степной растительности.

Как пишет О. П. Добродеев [18], московско-валдайское межледниково е отличалось благоприятными условиями для формирования почвенного покрова. За несколько десятков тысяч лет благодаря мягкому теплому климату он достиг мощности, которая была больше мощности современных почв Русской равнины, и особенно нечерноземной зоны (их возраст не превышает 10 тыс. лет). Граница между лесными и степными почвами проходила южнее современной. На юг от линии Киев — Воронеж — Куйбышев до берегов южных морей и, вероятно, до Кавказа развивались мощные черноземы совместно с лугово-черноземными почвами. Севернее формировались мощные лессированные и подзолистые почвы. На севере Русской равнины зона тундровых почв отсутствовала, что указывает на более мягкий климат московско-валдайского межледникова я по сравнению с современным.

Во вторую половину межледникова я граница между подзолистыми почвами и черноземами сдвигалась далеко на север. Одновременно происходит деградация мощных черноземов, осветляется верхняя часть гумусового горизонта, уменьшается содержание органического вещества. Это связано с изменением климата в сторону его аридизации при дальнейшем проявлении валдайского оледенения, наступившего 70—65 тыс. лет назад. Оно вызвало деформацию межледникового покрова, испытавшего в начале оледенения наибольшее иссушение с образованием в почвах трещин усыхания; севернее линии Киев — Воронеж — Куйбышев появились нарушения, имеющие вид волнообразных мерзлотных смятий.

В межстадиальные периоды плейстоцена эпигенетическое образование почвенных покровов проходило только на южной половине Русской равнины. В позднем плейстоцене такие условия создаются в промежутки от 50—40 (?) до 22 тыс. лет назад, когда формируется так называемая брянская почва, и между 18 и 15 тыс. лет назад при формировании весело-вознесенской почвы. Обе эти почвы развиты на юге Русской равнины, а в средней ее части к северу от линии Брянск — Коломна — Владимир они замещаются лессовидными суглинками.

В плейстоцене на Южном склоне Большого Кавказа установлены следы трехкратного оледенения, относящегося к миндальскому, рисскому и вюргскому времени (по альпийской схеме). По данным геоморфологических исследований

Т. Ф. Парцваниши, обнаружены морены на разных отметках над урезом Риони с присутствием флювиогляциальных террас. В пределах Колхидской низменности развиты четвертичные торфяные болота, занимающие большие площади в прибрежной полосе Черного моря и вокруг оз. Палеостоми. Колхидская низменность примыкает к отрогам Кавказского и Аджаро-Имеретинского хребтов. Все реки (Риони, Ингури и др.) своими выносами продуктов выветривания горных пород оттеснили далеко на запад море и образовали обширную долину. Этот процесс продолжается и в настоящее время.

Колхидская низменность представляет собой межгорную впадину, образовавшуюся при погружении Грузинской глыбы. Дно и борта впадины сложены мезозойскими и палеоген-плиоценовыми отложениями, в основном морскими, перекрытыми мощной (до 450 м) толщей четвертичных отложений. В валдайскую эпоху голоцена на Большом и Малом Кавказе происходит вздымание складчатых систем одновременно с понижением уровня океана, в связи с чем прекратился сток в образованное Новоэвксинское озеро-море. В Колхидской низменности идет регрессия моря, Колхидский залив отступает далеко на запад, отмечается перерыв осадконакопления. В это время накапливается два-три горизонта торфа. Погребенные торфяники (до глубины 100 м) обычно залегают линзообразно, часто они мало мощные (до 0,5 м), загрязненные глинистым материалом. По заключению палинологов ВСЕГЕИ О. Н. Жежиль, Е. П. Бойцовой, споры и пыльца торфяников и пород Колхидской низменности указывают на присутствие в древесном ярусе таких групп, как орех, бук, граб, липа, а на низинных участках — ольхи. В травянистом ярусе преобладают осоки и злаки, встречаются также и папоротники.

С исчезновением последнего ледникового покрова с территории Русской равнины (около 10 тыс. лет назад) восстанавливается уровень океана, прекращается интенсивное осадконакопление, нормально развивается процесс почвообразования. Однако в послеледниковые осадочный материал аккумулируется главным образом в водоемах и по долинам рек, поэтому среди ископаемых почв голоценового возраста широко распространены только пойменные. В южной же степной части скорость осадконакопления была настолько мала, что не препятствовала формированию нормального почвенного профиля. В разные эпохи голоцена песчаные отложения подвергались сильной ветровой эрозии и засыпали близлежащие почвы, делая их ископаемыми. Такие почвы установлены на Дону, в Прибалтике.

В атлантическое время климатического оптимума значительно расширилась зона лесных подзолистых почв, которые по боровым террасам рек проникали значительно южнее современного их распространения. В границах современной тундро-вой зоны ископаемые почвы атлантического времени формировались под лесом, а в послеатлантическое время зона лесного

почвообразования значительно сузилась. С севера надвигаются тундровые почвы, а степные распространяются далеко на север.

В процессе образования почвенного покрова появляется его зональность. Если в начальный период формирования почвенного покрова в девоне существовал только один тип флоры — гондванский (тропический), то уже в карбоне было два типа — гондванский и вестфальский (умеренный).

Юрский и меловой периоды, когда в связи с резким изменением климата появились новые покрытосеменные и цветковые растения, можно считать началом развития современных почвенных зон, которые полностью сформировались в четвертичное время, когда кроме тропической и умеренной флоры возникла также и флора арктической и переходных к ней зон.

Е. В. Лобанов [44] выделяет следующие пояса почвенного покрова мира.

**1. Тропический пояс.** Это самый древний пояс. Высокие среднегодовые температуры и выпадение большого количества атмосферных осадков (2000—4000 мм/год) обеспечивают активное выветривание горных пород с образованием мощных кор выветривания и почв. Щелочной гидролиз первичных минералов приводит к активному удалению оснований (кальция, магния, калия) с дальнейшим освобождением ионных форм кремния, железа, алюминия.

В полноразвитой тропической почве (ферралитовой) выделяют четыре горизонта:

*a* — слабоглинистый, окрашенный гумусом, мощность около 1 м; включает железистые, марганцовистые, кремнеземистые конкреции с окристаллизованным гипсом;

*b* — аккумулятивный (*B*, *oxic*), мощность 3—4 м; обогащен окислами и гидроокислами железа, алюминия, марганца, титана, а также фтором;

*v* — глинистый каолинитовый, пестро окрашен окислами железа и марганца;

*g* — горизонт выветривающейся материнской породы (глинисто-щебнистый, гнилой камень, каменные глыбы, плотная порода — камень); эти разрушающиеся породы называются альтеритами.

По степени выветрелости почвы тропического пояса разделяются на ферралитовые, каолинитовые, железистые. Общим для всех почв являются кислая реакция, низкие емкость и насыщенность, фульватный слабополимеризованный гумус.

**2. Субтропический пояс.** Во влажных зонах распространены красноземы, красно-желтые оподзоленные и бурье бескарбонатные почвы; в сухих зонах — коричневые почвы, смольницы и сероземы при отсутствии в общем солонцеватости. Во влажной части субтропиков почвообразование протекает в кислой среде под влиянием фульватного гумуса и быстро минерализующегося органического вещества. Почвы преимущественно глинистые и тяжелосуглинистые. В СССР, Китае и Японии

распространены желтоземы, менее выветрелые, чем красноземы. В состав глинистых минералов входят гидрослюды и монтмориллониты. К почвам влажных субтропиков относятся также бурые бескарбонатные. В целом почвы здесь выветриваются слабее, чем в тропиках. В сухой части субтропиков процесс выветривания происходит в условиях нейтральной или щелочной среды. Это благоприятствует синтезу глин типа иллитов и монтмориллонитов, что благоприятно оказывается на обменной способности, которая в коричневых почвах достигает 25—45 мг-экв. Почвы субтропических территорий средиземноморских областей благодаря широкому распространению известняков отличаются плодородием.

**3. Суб boreальный пояс.** Этот пояс охватывает более молодые почвенные зоны, которые формировались в послеледниковые эпохи или несколько ранее. Общей их чертой является изогумусовый профиль, гуматный гумус, слабое выветривание минеральной части профиля почв. Общая тенденция развития современного почвенного покрова степей заключается в накоплении устойчивого гуматного гумуса на фоне достаточного количества минеральных резервов. Мощность почвенного профиля колеблется от 1,5 до 4 м. Выетривание протекает в слабошелочной среде с образованием сложных органоминеральных комплексов и накоплением разновозрастного органического вещества, которое слабо мигрирует по профилю и связано главным образом с основаниями. Для этих почв характерно присутствие иллитов и монтмориллонитов. В пустынной зоне интенсивность почвообразования минимальная, сплошной почвенный покров часто отсутствует. На поверхность выходят древние кристаллические и мезозойские морские породы (реже континентальные).

**4. Бореальный пояс.** Здесь почвенный покров, как и в суб boreальном пояссе, дифференцирован на зоны и фации. Почвы сформированы под лесной, таежной и болотной растительностью на разнообразных породах.

Интенсивность почвообразования довольно значительная, присутствуют глины сиаллитного типа, выветривание идет до формирования окислов железа и алюминия. Основные почвы: подзолистые, кислые неоподзоленные (подбуры), таежные мерзлотные, таежные ожелезненные. Повышенная влажность гумидного климата увеличивает интенсивность почвообразования в условиях кислой среды с формированием фульватных почв. Почвообразовательный процесс сопровождается оподзоливанием и оглеением.

В. В. Добровольский и др. [68] за основу почвенно-географического районирования СССР взяли специфику структуры почвенного покрова, определяемой условиями почвообразования. Географическое районирование слагается из следующих единиц: почвенно-биоклиматических поясов и областей, почвенных зон, провинций, округов и районов. Эти авторы дают следующее описание почвенных зон СССР.

**1. Северо- и среднетаежная зоны.** Преобладают кислые почвы ( $\text{pH}=3\div4$ ), бедные гумусом (1—2%). Подзолистые и глеево-подзолистые почвы распространены на западе и мерзлотно-таежные на востоке. Содержание гумуса в них составляет 3—4%,  $\text{pH}=5\div7$ . Климат умеренно холодный с продолжительностью вегетационного периода от 50 до 115 сут, избыточно влажный на западе и Дальнем Востоке и полузасушливый в Восточной Сибири. Земледельческие площади разбросаны участками, сельскохозяйственные работы сочетаются с лесным хозяйством.

**2. Южнотаежная зона.** Земледельческие площади приурочены в основном к суглинистым дерново-подзолистым почвам и сочетаются с лесохозяйственными массивами. Супесчаные и песчаные дерново-подзолистые почвы освоены под земледелие главным образом в западной половине зоны. Содержание гумуса 2—4%,  $\text{pH}=3\div6$ . Климат умеренно холодный и умеренный с продолжительностью вегетационного периода от 90 до 155 сут, избыточно влажный на западе и полувлажный в Сибири. Зима мягкая и снежная на западе и суровая малоснежная в сибирской и дальневосточных частях зоны.

**3. Буроземно-лесная зона.** Располагается на юго-западе и юго-востоке СССР, на флангах черноземной зоны и имеет более теплый климат, чем в таежно-лесной зоне. Продолжительность вегетационного периода около 180 сут на западе и 120—155 сут на востоке. Преобладает горный рельеф. Под земледелие освоены подгорные равнины и предгорья с бурыми лесными оподзоленными и лагунно-черноземовидными почвами на востоке. Содержание гумуса 3—7%,  $\text{pH}=4\div6$ .

**4. Лесостепная зона.** Господствуют типичные выщелоченные и оподзоленные черноземы и серые лесные почвы. Содержание гумуса 3—10%,  $\text{pH}=5\div7$ . Климат умеренный, полувлажный, в сибирской части — умеренно холодный, полузасушливый с холодной и очень холодной зимой. Продолжительность вегетационного периода 95—105 сут в Сибири и 155—180 сут на западе.

**5. Степная зона.** Преобладают обыкновенные и южные черноземы с содержанием гумуса 4—8%,  $\text{pH}=6\div7$ . Климат умеренный, полузасушливый, в Сибири и Казахстане засушливый. Продолжительность вегетационного периода 160—175 сут на юго-западе и 100—130 сут в Восточной Сибири.

**6. Сухостепная зона.** Ее представляют темно-каштановые и солонцеватые почвы. Содержание гумуса 2—4%,  $\text{pH}=6\div7$ . Климат умеренный, засушливый на западе и очень засушливый в Казахстане. Продолжительность вегетационного периода 175—190 сут на западе и 135—150 сут на востоке.

**7. Пустынная и полупустынная зоны.** Земледелие имеет выборочный характер и приурочено к более увлажненным, легким и другим видам бурых, полупустынных и аллювиальных почв. Содержание гумуса 1—2%,  $\text{pH}\geq7$ . Климат умеренный, полу-сухой и сухой. Продолжительность вегетационного периода 170—200 сут на западе и 150—190 сут на востоке зоны.

**8. Полупустынные и пустынные субтропики.** Господствуют сероземы, серо-бурые и такыровидные почвы южной теплой фации. Содержание гумуса 1—2 %,  $pH \geq 7$ . Климат сухой, теплый и умеренно теплый. Продолжительность вегетационного периода 190—250 сут.

**9. Сухие и полусухие субтропики.** Земледелие приурочено к предгорьям и подгорным равнинам. Преобладают коричневые и серо-коричневые почвы, а также своеобразные черноземы. Содержание гумуса 3—7 %,  $pH = 5 \div 6$ . Климат теплый засушливый и полувлажный. Продолжительность вегетационного периода 190—215 сут.

**10. Влажные субтропики.** Под земледелие используются нижние части склонов и приморские долины. Почвы красноземные и желтоземные, кислые ( $pH = 3 \div 5$ ), содержание гумуса 2—4 %. Климат теплый, влажный и избыточно влажный, с теплой бесснежной зимой и редкими заморозками. Продолжительность вегетационного периода 225—240 сут.

**11. Горные провинции.** Сюда относятся летние пастбища и лесохозяйственные территории. Земледелие ведется выборочно в горных котловинах и на пологих склонах в различных по природным условиям вертикальных почвенных зонах.

Согласно природно-хозяйственному районированию земельного фонда СССР [69] Нечерноземная зона РСФСР занимает более 283 млн. га и охватывает шесть природных зон (подзон).

Полярно-тундровая зона представлена в основном тундровыми глеевыми почвами. В ее южных районах (Кольский полуостров) развиты тундровые иллювиально-гумусовые почвы, и в том числе подбуры, иллювиально-гумусовые подзолы на легких породах, а также тундровые глеевые оподзоленные почвы на мелкоземистых нещебнистых породах. Общая площадь этой зоны составляет 9,3 %.

Большие площади Нечерноземья (77 %) занимает таежно-лесная зона, которая по природным условиям делится на три подзоны: лесотундрово-северотаежную (24,8 %), среднетаежную (16,8 %), южнотаежную (35,4 %). В лесотундрово-северотаежной подзоне преобладают глеево-подзолистые почвы на суглинках и подзолистые иллювиально-гумусовые почвы на песках в сочетании с болотно-подзолистыми почвами и верховыми болотами. В среднетаежной подзоне преобладают подзолистые и болотно-подзолистые почвы на суглинках и покровных отложениях. На западе и юго-востоке подзоны распространены супесчаные подзолистые почвы и подзолы, которые приурочены к водно-ледниковым и древнеаллювиальным пескам. Особо выделяются плодородные дерновые почвы, развитые на шунгитовой морене. Южнотаежная подзона отличается более теплым климатом при достаточном увлажнении, что способствует развитию смешанных хвойно-лиственных лесов. Преобладают дерново-подзолистые суглинистые почвы на морене и покровных отложениях; дерново-подзолистые супесчаные и песчаные почвы

занимают второе место. Широко развиты также торфяно-болотные почвы и торфяники. Для той части подзоны, которая расположена на Русской равнине, характерен моренно-равнинный рельеф с участками плоских заболоченных низин.

Лесостепная зона занимает северные части Среднерусской и Приволжской возвышенностей, а также разделяющую их Окско-Донскую низменность, Пермское и Уфимское плато. Общая площадь зоны составляет всего 3 % Нечерноземья. В почвенном покрове преобладают серые лесные суглинистые почвы. Большие пространства занимают массивы песчаных дерново-подзолистых почв на древнеаллювиальных отложениях. На юге зоны распространены оподзоленные и щелочные черноземы, глинистые и тяжелосуглинистые на лессовидных суглинках.

В нечерноземной зоне европейской части СССР по характеру ледниковых отложений выделяются следующие районы: северо-западный — главный пояс конечных образований; центральный — пояс дифференцированных наносов; периферический — область ледниковых грунтов (днепровский и донецкий языки) [46]. В соответствии с этим отчетливо проявляются фациально-провинциальные закономерности, обусловленные нарастанием континентальности и уменьшением влажности климата по мере перехода от западных областей к восточным. Так, в пределах южнотаежной и лесостепной зон выделяются: Прибалтийская провинция дерново-подзолистых слабогумусированных почв, Белорусская провинция дерново-подзолистых слабогумусированных почв и низинных болот, Среднерусская провинция дерново-подзолистых среднегумусированных почв, Вятско-Камская провинция дерново-подзолистых высокогумусированных почв и дерново-подзолистых почв со вторым гумусовым горизонтом, Среднерусская лесостепная провинция, Прикамская провинция черноземов.

В Нечерноземной зоне РСФСР проживает более 25 % населения СССР, здесь сосредоточена крупная промышленная база. Сельскохозяйственному производству нечерноземной зоны уделяется большое внимание; в 1974 г. опубликовано постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР».

## ГЛАВА 3

### ГУМУС И ЕГО РОЛЬ В ПОЧВООБРАЗОВАНИИ И ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ

Гуминовые кислоты являются составной частью органического вещества почв, торфов, углей, современных морских пресноводных осадков, а также древних почв и осадочных пород. Гуминовые вещества представляют собой продукт жизнен-

деятельности микроорганизмов, появление которых относится к началу зарождения жизни в океанических водах. Уже тогда они играли роль санитаров, перерабатывая отмерший растительный и животный материал океана, образуя питательную среду в донных осадках (оceanические почвы) для жизнедеятельности растительного мира.

Первые гуминовые кислоты на континенте появились, вероятнее всего, в девоне, когда формировались торфяные болота из отмерших псилофитов — выходцев из океанических вод. Наши исследования гуминовых кислот барзасской рогожи (девон), состоящей из неразложившихся псилофитов, показали, что в их элементарном составе содержится: углерода 62,5 %, водорода 5,3 %, азота 1,38 % и кислорода 30,8 % (по разности). В составе функциональных групп карбоксильные составляют 6,5 мг и фенольные 8,3 мг, или соответственно 44 и 56 %. По химическому составу гуминовые кислоты псилофитов весьма близки к современным черноземам, у которых, по данным М. М. Конновой, содержание углерода составляет 61,84 %, водорода 4,21 %, азота 3,28 %, кислорода 30,67 % (по разности) [38].

Бактерии в почве осуществляют большую работу, разлагаая различные органические вещества и участвуя в их синтезе. Особенно активны бактерии вблизи корневой системы растений, что способствует выделению особых веществ.

Грибы по многим биохимическим процессам сходны с бактериями. Характерной особенностью грибов является накопление в их клетках жиров. Они более активны, чем бактерии, и разлагают более стойкие органические соединения до углекислоты и воды. Грибы особо отзывчивы на внесение в почву микроэлементов — цинка, меди, марганца, молибдена. Разлагая в почве остатки растений, грибы превращают их в гуминовые кислоты. Тем самым они способствуют подзолообразованию, особенно под пологом леса.

На лесозаготовительных пунктах Калининской области в кучах отходов хвойных деревьев (хвоя, ветки, кора и др.), расположенных вблизи верховых торфяников, нами был установлен активный процесс гумификации. Причиной его явились повышенная увлажненность и хорошая аэрация, что благоприятствовало активной жизнедеятельности грибов. Температура в глубине таких куч, где развивался процесс гумификации, достигала 86—90 °С. Образовавшиеся здесь гуминовые кислоты близки по элементарному составу к гуминовым кислотам верховых торфяников; они содержат углерода 61,30 %, водорода 4,95 %, азота и кислорода 33,75 % (по разности).

В условиях формирования лесных почв лесной опад под действием грибов разлагается с образованием легкорастворимых в почвенных водах органоминеральных комплексов, которые мигрируют в глубокие горизонты почв, где формируется подзолистый горизонт  $A_2$ , отличающийся бедностью химических

элементов, важных для жизнедеятельности растений. В разложении растительного материала торфяников переходного типа принимают участие как грибы, так и бактерии. Такую же роль они играют в переработке травянистой растительности с формированием дерновых почв. С разложением лугово-степной растительности связано образование черноземов. В полынно-типчаковых и полынно-типчаково-ковыльных степях Юга СССР образуются каштановые и бурые почвы, в условиях пустынь — сероземы. В разложении растительного материала торфяников низинного типа принимают участие только бактерии.

Бактерии и грибы содержатся в почвах в значительных количествах (табл. 3). Максимальное содержание микробной массы наблюдается в окультуренных сероземах (3,4 %), минимальное — в подзолах (0,1 %). В окультуренных дерново-подзоли-

ТАБЛИЦА 3  
Содержание микробов в почвах [52]

Почвы	Масса микробов, т/га		Масса микробов, % от перегноя
	в сырой почве	в сухой почве	
Подзолы	0,6	0,1	0,1
Дерново-подзолистые	0,9	0,2	0,2
	3,5	0,9	1,0
Черноземы	3,7	0,9	0,3
	5,2	1,3	0,7
Сероземы	2,5	0,5	1,6
	5,0	1,2	3,4

Примечание. Числитель — целинные почвы, знаменатель — окультуренные.

стых почвах микробов больше, чем в окультуренных черноземах. Жизнедеятельность аэробных бактерий зависит от содержания кислорода в почвенных и торфяных водах, от степени обводненности и кислотности среды. Большинство бактерий успешно развивается в условиях повышенной обводненности при нейтральной или слабощелочной среде, что характерно для торфяников низинного типа. В отличие от бактерий, грибы плохо переносят щелочную среду. Они хорошо развиваются в слабокислой и кислой средах, которые присущи верховому и переходному типам торфяников. Если бактерии требовательны к температурным условиям, то грибы могут продолжать свое существование даже при низких темпертурах в условиях Арктики. Однако грибы очень чувствительны к избыточному увлажнению и с наступлением неблагоприятных условий временно прекращают свою деятельность.

Продукты разложения растительного материала представлены в основном гуминовыми кислотами, фульвокислотами, оксикарбоновыми кислотами простого строения и воднорастворимыми органическими веществами (сахара и др.). Скорость разложения растительного материала в верховом торфянике значительно выше, чем в низинном, из-за мощного торфогенного слоя (0,3—0,5 м), в котором идут процессы разложения. Мощность торфогенного слоя в низинном торфянике составляет всего 0,1—0,2 м. Кроме того, выпуклая структура верховых торфяников способствует повышенной аэрации, ускоряющей процесс разложения, в котором принимают участие не только грибы, но и кислород воздуха.

Кислая среда минеральных и торфяно-болотных почв способствует миграции продуктов разрушения растительных остатков, что можно показать на примере современных верховых и низинных торфяников (табл. 4). Воды верховых торфяников

ТАБЛИЦА 4  
Групповой состав органических веществ торфяных вод  
в современных торфяниках разного типа  
(по данным Ф. Я. Сапрыкина и А. Ф. Кулачковой)

Торфяники	Количество органического вещества в воде, г/л	Групповой состав, % на органическое вещество торфяных вод		
		Гуминовые кислоты	Фульвокислоты	Воднорасторимые вещества
Чистик	19,7	18,6	45,8	35,6
	12,5	2,7	51,2	46,1
Большое Тирели	46,6	15,5	46,4	38,1
	23,1	2,5	43,0	54,5
Рагану	50,5	12,9	56,1	31,0
	14,1	—	31,2	68,8
Среднее	38,9	15,7	49,6	34,7
	16,6	1,7	41,8	56,5

Приложение. Числитель — верховой торфяник, знаменатель — низинный.

содержат в среднем в 2,4 раза больше продуктов разложения, способных мигрировать за пределы торфяной залежи, при этом гуминовых кислот больше в 9 раз. Основными же формами миграции являются фульвокислоты (49,6 и 41,8 %) и воднорасторимые вещества (34,7 и 56,5 %). Установлено также, что количество растворимого органического вещества в торфяных водах зависит от степени их кислотности. Так, в торфяных водах с изменением pH от 3,5 до 6,6 содержание органического вещества уменьшается от 72,5 до 9 мг/л. Растворимость солей

кальция в торфяных водах с повышением рН увеличивается. В кислых водах торфяника существуют в растворимом состоянии гуминовые кислоты и соли кальция, и только в пределах  $pH = 4,5 \div 7,3$  происходит химическое взаимодействие между ними с образованием гуматов.

В дерново-подзолистых луговых почвах, сформированных на моренных тяжелых суглинках с редкими включениями гальки, кристаллических пород и щебенки известняка, гумусовый горизонт составляет около 16 см и присутствует незначительный по мощности подзолистый горизонт. По общему содержанию органических и минеральных веществ лизиметрические воды луговой почвы аналогичны водам лесной почвы; они характеризуются сравнительно невысоким содержанием сухого остатка в верхней части профиля, несколько нарастающим с глубиной. Основная часть растворенных веществ представлена минеральными соединениями, содержание органических веществ невелико, в водах из гумусового горизонта оно составляет 13,4—17 мг/л, с глубиной концентрация их заметно уменьшается. Значительная миграция органических веществ наблюдается и в дерново-подзолистой супесчаной почве долголетнего культурного пастбища. Содержание углерода в лизиметрических водах этой почвы достигает 51—58 мг/л в гумусовом горизонте и 17—20 мг/л в горизонте *B*. В состав растворенных в воде органических веществ, по данным М. В. Новицкого [1971 г.], входят как соли органических кислот (щавелевая), соединения фенольной природы и аминокислоты, так, по-видимому, и гумусовые соединения.

Л. Н. Александрова [3] механизм умификации представляет как биохимическое окислительное кислотообразование, причем «структурными единицами» гуминовых кислот являются высокомолекулярные промежуточные продукты разложения органических остатков — белков, дубильных веществ, углеводов, лигнина. Она предлагает различать три основных этапа процесса гумификации: новообразование гуминовых кислот, их дальнейшую гумификацию и постепенное медленное разложение. Первым этапом процесса гумификации является формирование системы гуминовых кислот, которые называют «молодыми» (новообразованными). Первые фазы кислотообразования развиваются, по-видимому, относительно быстро; так, уже через 3—30 сут после начала процесса разложения (в зависимости от химического состава растительных остатков) можно наблюдать появление «молодых» гуминовых кислот, содержащих значительное количество карбоксильных групп и имеющих специфический элементарный состав (табл. 5). Одновременно с кислотообразованием идет и второй характерный процесс гумификации — формирование азотистой части молекулы гуминовых кислот. Она присутствует в форме аммонийного иона, амидов, остатков аминокислот и аминосахаров, а также малоизученных гетероциклических (а может быть, ароматических) компонентов.

ТАБЛИЦА 5

Элементарный состав и функциональные группы новообразованных гуминовых кислот, выделенных из разложившихся растительных остатков (В. А. Аршанская [1981 г.])

Объект, из которого выделен препарат	Срок разло- жения, сут	С Н Н О				C/N	C/H	СООН	ОН	Гидроли- зируемый азот, % от вало- вого состава
		% на сухое безольное вещество						мг-экв/г		
Наземная часть клевера	15	57,1	5,0	7,8	30,1	7,3	11,4	2,56	3,20	50
	90	57,8	5,0	6,4	30,8	9,1	11,6	3,11	2,80	28
	360	59,1	3,5	6,4	31,0	9,1	17,0	3,27	3,50	24
Листья дуба	15	56,2	5,7	5,5	32,6	10,5	9,9	2,75	4,95	48
	90	50,7	4,8	6,4	38,1	7,9	10,5	2,85	4,64	38
	360	49,3	5,1	6,6	39,0	7,4	9,6	4,08	3,78	28
Корни разно- травно-злаковой растительности	15	57,5	5,3	2,4	34,8	23,9	10,9	2,13	3,18	не опр.
	90	55,3	5,5	3,1	36,1	17,5	10,1	2,45	3,32	»
	360	55,3	5,5	3,3	35,9	16,9	10,1	2,94	3,37	»
Чернозем тилический	—	57,9	3,4	4,5	34,2	12,9	17,0	4,61	2,52	11
	—	54,0	4,8	4,2	37,0	12,7	11,3	4,82	3,11	29

На примере изучения элементарного и группового состава растительных остатков разной степени гумификации можно проследить те изменения, которые происходят в растениях в раннюю стадию гумификации (табл. 6). В элементарном составе наблюдается повышение содержания углерода и снижение водорода. Более заметные изменения происходят в групповом составе. Так, в битумоидах отмечается неравномерное повышение содержания бензольных битумоидов с 0,74 до 3,39 % при одновременном уменьшении спиртобензольных. Суммарное же содержание битумоидов возрастает, что происходит в основном в результате разложения и выноса менее стойких к разрушению органических компонентов растительных остатков. Такими компонентами являются воднорастворимые, легкогидролизуемые и редуцирующие вещества. Содержание гуминовых и фульвокислот с гумификацией возрастает.

Весьма показательно влияние степени разложения растительного материала торфяников на элементарный состав гуминовых кислот и на содержание в них кислых групп (табл. 7). Химический состав гуминовых кислот зависит не от возраста торфов, из которых они извлечены, а главным образом от кислотности водной среды (как это было показано выше) и от степени разложения растительного материала. Во всех растительных группах торфов с увеличением степени разложения наблюдается повышение содержания углерода, в древесной группе — снижение количества кислорода. Среди кислых групп гуминовых кислот превалирующее значение имеют фенольные,

ТАБЛИЦА 6

Изменение элементарного (%) и группового состава  
 (%) на органическое вещество древесных растительных остатков  
 ископаемых торфов со степенью их гумификации  
 (по данным А. Ф. Кулачковой и Ф. Я. Сапрыкина)

Элементарный и групповой состав	Без признаков гумификации	Со слабыми признаками гумификации	С явными признаками гумификации	С повышенной степенью гумификации
Сг	58,61	58,44	59,27	59,77
Нг	6,21	5,97	5,84	5,87
O + S + N (по разности)	35,18	35,59	34,89	34,36
Битум	3,04	3,58	3,24	4,70
Бензольный	0,74	1,68	1,57	3,39
Спиртобензольный	2,30	1,90	1,67	1,31
Воднорастворимые и легкодролизуемые вещества	10,54	6,86	8,24	6,74
Редуцирующие вещества вытяжки	3,63	2,96	2,61	2,15
Водной	0,50	0,28	0,20	0,13
Солянокислой	3,13	2,68	2,41	2,02
Гуминовые кислоты	8,87	10,86	12,27	12,24
Фульвокислоты	12,10	12,41	12,00	16,93
Целлюлоза	10,16	10,33	9,44	9,24
Лигнин	51,30	53,00	52,18	48,00
Место отбора пробы	г. Шклов, правый берег Днепра	д. Черемошня, Ярославская обл.	Ярославская обл.	г. Шклов, правый берег Днепра, обн. 8

процент которых снижается по мере разложения торфа, при этом соответственно увеличивается содержание карбоксильных групп. Следует отметить, что максимальное количество карбоксильных групп отмечается у современных торфов — сфагновых (58,02 %) и шейхцериевых (75,00 %).

### СОСТАВ ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ

Гуминовые кислоты современных торфов неоднородны и в своем составе содержат растворимую и нерастворимую в ацетоне фракции. Максимальное содержание растворимой фракции установлено в торфе фускум (22,4 %), пушицево-сфагновом (19,1 %) и древесном (18,7 %). Растворимые и нерастворимые фракции значительно отличаются друг от друга элементарным составом (табл. 8). Растворимая в ацетоне фракция имеет более высокое содержание углерода и водорода и соответственно пониженное содержание кислорода и азота.

В древесном ископаемом торфе (табл. 9) по мере увеличения степени разложения уменьшается выход растворимой фрак-

ТАБЛИЦА 7

Химическая характеристика гуминовых кислот ископаемых и современных торфов  
в зависимости от степени их разложения  
(по данным А. Ф. Кулаковой и Ф. Я. Сапрыкина)

Источник гуминовых кислот	Степень разложения, %	C	H	O+N	Кислые группы			
		% на органическое вещество			Карбоксильные		Фенольные	
					мг-ЭКВ/Г	%	мг-ЭКВ/Г	%
Древесная группа								
Ископаемый	25	57,66	4,94	37,40	2,05	31,60	4,43	68,40
	35	59,15	4,65	36,20	2,38	37,60	3,94	62,40
	45	59,49	5,11	35,40	2,85	38,00	4,65	62,00
Современный	50	62,11	5,25	32,64	2,18	46,30	2,53	53,70
Травяная группа								
Осоковый								
Современный	25	59,48	4,63	35,89	2,22	21,10	8,28	78,90
Ископаемый	35	60,97	4,66	34,37	2,30	30,90	5,13	69,10
Тростниковый современ- ный	35	59,20	4,64	36,16	3,31	53,60	2,86	46,40
	40	59,24	4,44	36,32	3,19	54,20	2,70	45,80
Шейхцериевый								
Ископаемый	27	61,41	5,05	33,54	1,80	27,00	4,87	73,00
Современный	35	61,44	4,55	34,01	2,82	75,00	0,94	25,00
Моховая группа								
Гипновый								
Ископаемый	20	60,71	4,95	34,34	2,12	27,30	5,65	72,70
Современный	35	61,06	4,62	34,32	2,05	30,70	4,62	69,30
Сфагновый								
Ископаемый	25	61,06	4,63	34,31	1,94	25,10	5,79	74,90
Современный	35	61,44	4,65	33,91	2,82	58,02	2,04	41,18

ции гуминовых кислот, при этом в ней наблюдается уменьшение содержания углерода при относительном повышении содержания водорода и особенно кислорода. В нерастворимой в ацетоне фракции наблюдается повышение количества углерода и соответственно снижение кислорода. Напрашивается вывод, что растворимая в ацетоне фракция гуминовых кислот менее устойчива к процессам разложения, чем нерастворимая фракция.

ТАБЛИЦА 8

Элементарный состав растворимой и нерастворимой в ацетоне фракций гуминовых кислот современных торфов  
(по данным А. Ф. Кулачковой)

Торф	Степень разложения, %	Выход гуминовых кислот, %	% на горючее вещество		
			H	O+N	
Осоковый	25	95,50	59,23	4,57	36,20
		4,50	63,68	5,28	31,09
Тростниковый	35	93,00	59,68	4,16	36,16
		7,00	67,33	7,30	25,37
Древесно-гипновый	50	90,87	58,45	4,03	37,52
		9,13	63,99	6,46	29,55
Древесный	50	81,30	61,36	5,64	33,00
		18,70	65,85	7,56	26,59
Фускум	50	77,60	61,92	4,36	33,72
		22,40	62,49	5,50	32,01
Пушицево-сфагновый	35	80,90	61,58	4,52	33,90
		19,10	62,93	6,61	30,41
Шейхериево-сфагновый	35	87,86	59,78	4,37	35,85
		12,14	64,37	5,48	30,15
Среднее		86,7	60,30	5,00	34,70
		13,3	64,00	6,31	29,69

Примечание. Числитель—нерастворимая фракция, знаменатель—растворимая

Состав и содержание кислых групп в гуминовых кислотах зависит от исходного растительного материала (табл. 10). Гуминовые кислоты разных групп торфов отличаются друг от друга элементарным составом и содержанием кислых групп, которых больше в гуминовых кислотах, выделенных из торфа моховой группы. В составе кислых групп максимальный процент приходится на долю фенолов (74,3%). От исходного растительного материала зависят также выход растворимой и нераство-

ТАБЛИЦА 9

Элементарный состав растворимой и нерастворимой  
в ацетоне фракций гуминовых кислот ископаемых торфов  
(по данным А. Ф. Кулачковой)

Торф	Степень разложения, %	Выход гуминовых кислот, %	C	H	O+N	
			% на горючее вещество			
Осоковый с примесью шейхцериевого	27	85,0	60,28	4,69	35,03	
		15,0	62,29	6,01	31,70	
Древесный	40	88,0	58,73	4,53	36,74	
		12,0	68,87	5,44	25,69	
	40—44	88,7	59,06	4,91	36,03	
		11,3	65,87	6,67	27,46	
Гипновый	45	92,3	59,21	4,86	35,90	
		7,7	62,95	6,49	30,56	
	20	90,0	61,23	4,74	34,03	
		10,0	68,12	7,23	24,65	
Сфагновый	35	90,7	62,49	4,20	33,31	
		9,3	65,40	6,10	28,50	
	25	90,0	61,30	4,60	34,10	
		10,0	67,99	7,09	24,92	
<b>Среднее</b>		89,1	60,30	4,65	35,05	
		10,9	65,90	6,43	27,67	

Примечание. Числитель—нерастворимая фракция, знаменатель—растворимая.

ТАБЛИЦА 10

Зависимость состава гуминовых кислот от исходного растительного материала (по данным А. Ф. Кулачковой)

Торф	С   Н   О+N			Кислые группы			Метоксильные группы, мг-экв/г	
	% на органическое вещество			Сумма, мг-экв/г	Карбо-ксильные   Фенольные			
					% от суммы			
Моховой	59,31	4,50	36,19	8,16	25,7	74,3	2,80	
Древесный	60,41	4,76	34,83	6,29	43,4	56,6	2,70	
Травяной	61,26	4,57	34,17	5,63	40,0	59,1	2,51	

римой фракций гуминовых кислот и их элементарный состав. Максимальный выход растворимой в ацетоне фракции устанавливается для травяной группы торфа и минимальный — для моховой (табл. 11).

ТАБЛИЦА 11

Элементарный состав (%) на органическое вещество) фракций гуминовых кислот разных групп торфа (по данным А. Ф. Кулачковой)

Торф	Растворимая в ацетоне фракция				Нерастворимая в ацетоне фракция			
	Выход, %	C	H	O+N	Выход, %	C	H	O+N
Моховой	7,0	65,40	6,53	28,07	93,00	59,20	4,40	36,40
Древесный	13,0	64,92	6,75	28,33	86,10	59,42	4,60	35,98
Травяной	17,9	62,60	5,86	31,54	82,10	57,76	4,30	37,94

Был поставлен опыт искусственного окисления гуминовых кислот, выделенных из бурых углей Днепровского буроугольного бассейна, относящихся к палеоген-неогеновому возрасту. Окисление проводилось кислородом воздуха в присутствии паров воды в течение 300 ч при температуре 40—60 °С. Потеря массы составила 9,3 %. Под микроскопом окисленная гуминовая кислота схожа с неокисленной, но по элементарному составу и содержанию растворимой и нерастворимой фракций они различаются (табл. 12). В продуктах окисления были установлены фульвокислота (34 %) и оксикарбоновые кислоты простого строения (66 %). Выход растворимой в ацетоне фракции уменьшился на 2 %. В элементарном составе окисленных гуминовых кислот и их фракций увеличивается содержание углерода и

ТАБЛИЦА 12

Элементарный состав (%) на органическое вещество) окисленных и неокисленных гуминовых кислот бурых углей палеоген-неогенового возраста (по данным А. Ф. Кулачковой и Ф. Я. Сапрыкина)

Состояние гуминовой кислоты	Гуминовая кислота			
	Выход, %	C	H	O+N
Неокисленная	100	61,85	6,18	31,97
Окисленная	90,7	66,35	5,98	27,67

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Состояние гуминовой кислоты	Растворимая в ацетоне фракция			
	Выход, %	C	H	O+N
Неокисленная	10	66,20	7,42	26,38
Окисленная	8	71,35	9,52	19,13

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Состояние гуминовой кислоты	Нерастворимая в ацетоне фракция			
	Выход, %	C	H	O+N
Неокисленная	90	61,67	5,60	32,73
Окисленная	92	65,35	5,86	28,79

уменьшается количество кислорода и водорода. Следовательно, окисление гуминовых кислот в условиях повышенной влажности затрагивает в основном растворимую в ацетоне фракцию и кислородсодержащие группы, при этом образуются фульвокислоты и оксикарбоновые кислоты простого строения. Аналогичное явление наблюдается и в природных условиях (табл. 13). От современного торфа до бурого угля и почв палеоген-неогенового возраста гуминовые кислоты и их фракции претерпевают генетические возрастные изменения, приводящие к уменьшению содержания растворимой в ацетоне фракции гуминовых кислот и кислорода — представителя кислых и метоксильных групп.

В почвах Советского Союза содержание гумуса и его групповой состав зависит от климатических условий и от степени переработки почвообразующих пород, которая в свою очередь зависит от продолжительности процесса формирования почв [37]. По мере развития почвообразовательного процесса от подзола (молодые почвы) до мощного чернозема (табл. 14) происходит изменение геохимической обстановки в направлении повышения показателей pH среды, что способствует как увеличению содержания гумуса в почвах, так и изменению его группового состава в сторону повышения содержания гуминовых кислот от 20 до 40 %; соответственно уменьшается содержание фульвокислот от 47—50 до 35—37 %. Таким образом, уменьшение кислотности и влажности почв способствовало значительному сокращению процессов окисления их гумуса. В условиях же нечерноземья при повышенных влажности и кислотности происходит ускоренный процесс подзолообразования с активным окислением гумуса. Продукты окисления гумуса в подзолистых почвах (фульвокислоты и оксикарбоновые кислоты) составляют около 80 %, в то время как в мощном черноземе их не более 60 %.

Что же представляют собой фульвокислоты? Это продукт окисления гуминовых кислот, причем в их элементарном составе содержание углерода значительно ниже, чем в гуминовых кислотах, а содержание кислорода выше. Наблюдается изменение элементарного состава фульвокислот с глубиной почвенного разреза (табл. 15). При этом уменьшается содержание углерода, повышается количество кислорода, а содержание водорода изменяется по-разному. В дерново-среднеподзолистой средне-

ТАБЛИЦА 13

Сравнительная характеристика элементарного состава (%) на органическое вещество) гуминовых кислот и их фракций в зависимости от возраста (по данным А. Ф. Кулачковой)

Источник гуминовой кислоты	Гуминовая кислота			Растворимая фракция			Нерастворимая фракция				
	C	H	O+N	Выход, %	C	H	O+N	Выход, %	C	H	O+N
Торф современный	60,38	4,62	35,00	13,30	64,30	6,31	29,39	86,70	60,30	4,20	35,50
Торф ископаемый, четвертичный	60,83	4,82	34,35	10,90	65,90	6,43	27,67	89,10	60,10	4,30	35,60
Торфо-уголь, палеоген-неогеновый	61,85	6,18	31,97	10,00	66,20	8,48	25,32	90,00	60,67	5,60	33,73
Почва суглинистая, палеоген-неогеновая	65,30	4,73	29,97	7,80	71,20	7,03	21,77	92,20	65,18	4,56	30,26
Почва песчанистая, палеоген-неогеновая	66,40	5,03	28,57	3,00	70,84	7,14	22,02	97,00	66,26	4,83	28,91
Почвы, развитые на:											
алевролите	67,05	5,47	27,48					не определено из-за малых количеств			
аргиллите	65,10	5,11	29,79	8,00	69,72	7,15	23,13	92,00	64,89	4,92	30,19
углистом аргиллите	65,30	4,73	29,97	7,80	71,20	7,03	21,77	92,20	65,18	4,56	30,26
слабоуглистом аргиллите	66,40	5,03	28,57	3,00	70,84	7,14	22,02	97,00	66,56	5,03	28,41

суглинистой почве количество водорода в элементарном составе фульвокислот возрастает с глубиной. В фульвокислотах типового мощного чернозема содержание водорода с глубиной, наоборот, уменьшается. В составе фульвокислот установлено присутствие углеводов, содержание которых в первом случае с глубиной увеличивается, а во втором уменьшается. С. Р. Ко-рюшкин и Л. К. Садовников считают, что углеводы представляют собой структурные единицы фульвокислот. Гидролизом и дальнейшим хроматографическим разделением на бумаге были определены качественно рамноза, глюкоза, галактоза, манноза, арабиноза, ксилоза, уроновые кислоты.

ТАБЛИЦА 14  
Содержание и групповой состав гумуса различных почв  
территории СССР [37]

Почвы	рН	Среднее содержание гумуса, %	Состав гумуса, % на органическое вещество		
			Гуминовые кислоты	Фульвокислоты	Прочие органические вещества (по разности)
Подзолистые	5,0—4,0	3,5	20	47	33
Серые слабоподзолистые	—	5,0	25	50	25
Черноземы					
Выщелоченные	5,8—6,5	7,5	35	42	23
Обыкновенные	—	7,5	35	37	28
Мощные	7,0	10,7	40	39	21
Темно-каштановые	7,5	3,5	34	35	31
Солонцы каштановой зоны	9,0 и выше	3,0	23	45	32
Сероземы	до 8,5	1,5	21	41	38
Красноземы	—	5,0	15	45	40

Т. А. Кухаренко и Т. Е. Введенская [1959 г.] установили нерастворимость фульвокислот в ацетоне и растворимость их в серном эфире; выход растворимой фракции высок — 68,04—77,72 %. Растворимая и нерастворимая фракции отличаются друг от друга как элементарным составом (табл. 16), так и содержанием функциональных групп (табл. 17) [40]. Растворимая в эфире фракция фульвокислот имеет высокое содержание фенольных групп (53,6 %) и малое содержание метоксильных (в 15 раз меньше, чем в нерастворимой фракции), содержание же карбоксильных групп почти одинаковое.

Разделение органического вещества почв проводилось по методике последовательного выделения гуминовых кислот и осаждения фульвокислот при  $\text{pH}=5$ . Фильтрат после этого представлял собой фракцию всех воднорастворимых органических веществ. В нем определялись отгонкой с паром летучие

ТАБЛИЦА 15

Элементарный состав фульвокислот и содержание в них углеводов (по данным С. Р. Корюшкина и Л. К. Садовникова [1975 г.])

Место взятия образца	Почва	Глубина горизонта, см	С   Н   О   N				Углеводы, % на органическое вещество	
			% на сухое беззольное вещество					
Ленинградская область	Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая	<i>A</i> <sub>1</sub>	0—10	48,6	4,7	43,7	3,0	13,8
		<i>A</i> <sub>2</sub>	11—23	46,9	5,1	44,3	3,7	14,0
		<i>B</i>	24—32	39,7	5,5	52,1	2,7	15,2
Московская область Тульские Засеки Курский заповедник	Дерново-среднеподзолистая Дерново-луговая Типичный мощный чернозем	<i>A</i> <sub>1</sub>	0—12	46,8	5,6	44,5	3,1	8,7
		<i>A</i> <sub>1</sub>	0—10	43,2	5,7	47,1	4,0	11,2
		<i>A</i> <sub>1</sub>	0—50	44,0	5,9	46,8	3,3	16,5
		<i>B</i> <sub>1</sub>	50—60	41,3	5,6	49,1	4,0	15,6
		<i>B</i> <sub>2</sub>	60—75	38,0	5,0	53,8	3,2	14,9

ТАБЛИЦА 16

Выход и элементарный состав фракций, выделенных из фульвокислот торфа серным эфиrom

Образцы	Фракции	Выход, %	Элементарный состав, %				C/H
			C	H	N	O+N	
1	Нерастворимая	22,28	47,77	5,59	3,54	43,10	8,54
	Растворимая	77,72	50,19	6,21	1,89	41,71	8,08
2	Нерастворимая	31,96	49,09	5,48	3,79	41,64	8,95
	Растворимая	68,04	48,06	6,35	1,37	44,22	7,66

органические кислоты и нелетучие. При разделении органического вещества дерново-слабоподзолистой почвы, развитой на ленточной глине, было получено: 24,5 % гуминовых кислот, 42,3 % фульвокислот, 64,3 % летучих и 25 % нелетучих с паром органических кислот. Летучие кислоты относятся к окси-карбоновым кислотам простого строения с прямой целью углеродных атомов. Строение нелетучих кислот более сложное — типа нафтеновых. Из органического вещества дерново-сильноподзолистой поверхности-оглеенной почвы, развитой на карбонатной морене, было выделено: 19,3 % гуминовых кислот, 43,0 % фульвокислот, 65,8 % летучих и 24,1 % нелетучих с паром окси-карбоновых кислот.

ТАБЛИЦА 17  
Содержание функциональных групп в фракциях  
фульвокислот выделенных из торфа

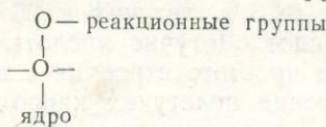
Фракции	Сумма функциональных групп, мг-экв/г	Карбоксильные		Фенольные		Метоксильные	
		мг-экв/г	%	мг-экв/г	%	мг-экв/г	%
Нерастворимая	8,7	3,6	41,1	2,5	29,3	2,6	29,6
Растворимая	7,85	3,5	44,6	4,2	53,6	0,15	1,8

Таким образом, в процессе оподзоливания происходит окисление гуминовых кислот с образованием фульвокислот, которые в свою очередь окисляются и дают окси-карбоновые кислоты простого и циклического строения. При этом начальная стадия окисления сопровождается изменением фракционного состава гуминовых кислот, что связано с отщеплением периферийных кислородсодержащих групп и образованием легкоокисляемой фракции, растворимой в ацетоне. Углубление процесса окисления приводит к формированию фульвокислот из растворимой в ацетоне фракции гуминовых кислот. Фульвокислоты приобретают новые химические и физические свойства. Они перестают растворяться в ацетоне и начинают растворяться в серном эфире. По сравнению с гуминовыми кислотами фульвокислоты имеют повышенную подвижность. Дальнейшее углубление процесса окисления приводит к разрушению фульвокислот с образованием окси-карбоновых кислот циклического строения, которые в дальнейшем упрощают свою структуру до прямой цепи углеродных атомов.

#### РЕАКЦИОННАЯ И МИГРАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ

Гумусовые кислоты в своем составе содержат гуминовые кислоты, фульвокислоты и окси-карбоновые кислоты простого и сложного циклического строения.

По представлениям Г. Тиле и Г. Котнера [Thiele H., Kettner H., 1953 г.], гуминовые кислоты принадлежат к макромолекулам со специфическими химическими структурами:



В ядро могут входить бензол, фуран, нафталин, антрацен, пиррол, индол, пиридин, тиофен, хинолин. Функциональные группы представлены в основном  $-\text{OH}$ ,  $\text{COOH}$ ,  $=\text{C}=\text{O}$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $-\text{CH}_3-\text{SO}_3\text{H}$ ,  $-\text{PO}_3\text{H}$ ,  $-\text{OCH}_3$ . Мостики связи имеют вид  $-\text{O}-$ ,  $\text{NH}-$ ,  $=\text{N}-$ ,  $-\text{S}-$ ,  $-\text{CH}_2-$ .

Согласно А. Мартелю и М. Кельвину [Martell A., Calvin M., 1952 г.], активными группами хелатов, способными образовывать внутрикомплексные соединения металлов, являются: первичные, вторичные и третичные амины, оксимы, кето- и тиокетогруппы, гидроксильная и карбоксильная группы, имины, субституэтные имины, тиоэфиры, фосфонаты, сульфаты.

Наличие в составе гуминовых кислот такого разнообразия атомных группировок делает их одними из реакционноспособных органических образований, разрушающих минеральные компоненты почв и исходных горных пород. Доказательством являются опыты, проведенные В. В. Пономаревой и др. [64] по изучению реакционной способности гумусовых кислот по отношению к некоторым минералам. В опытах были использованы соляная, лимонная, фульво- и гуминовая кислоты. Продолжительность опытов 5, 100 и 200 сут. Опытными минералами были нефелин, мусковит, вермикулит. Результаты опытов приведены в табл. 18—20. Как видно из приведенных в таблицах результатов, по реакционной способности фульво- и гуминовые кислоты не уступают соляной, а в некоторых случаях гуминовая кислота даже превосходит ее, в частности при извлечении  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из нефелина и мусковита (200 сут). Степень разрушения минералов зависит от продолжительности воздействия на них фульво- и гуминовых кислот (табл. 21). Наибольшему разрушению в длительных опытах подвержен нефелин, наиболее устойчив мусковит.

В составе гумусовых кислот присутствуют также и микроэлементы. Как показали наши исследования, гуминовые кислоты вступают в реакцию, образуя комплексы с большим числом микроэлементов, чем фульвокислоты, у которых намечается тенденция комплексироваться в основном с микроэлементами — металлами (табл. 22). Так, ведущими микроэлементами в гуминовых кислотах углей Подмосковного бассейна являются галлий, медь, цирконий, в фульвокислотах этих же углей — медь, цинк, никель; для Артемовского месторождения — соответственно сурьма, цирконий и свинец, медь, цинк, никель. Такая же тенденция наблюдается в древних почвах и современ-

ТАБЛИЦА 18

Реакционная способность гуминовых кислот и фульвокислот в разложении нефелина по сравнению с действием соляной и лимонной кислот (данные [64], обработанные автором)

Окислы	Содержание, %	Содержание в пробе, мг	Выход в раствор	5 сут				100 сут				200 сут				
				Соляная		Лимонная	Фульвокислота	Гуминовая		Соляная		Лимонная	Фульвокислота	Гуминовая		
				Соляная	Лимонная			Соляная	Лимонная	Соляная	Лимонная			Соляная	Лимонная	
SiO <sub>2</sub>	42,81	836,2	мг %	51,7 6,2	51,7 6,2	42,7 5,1	50,4 6,0	103,7 12,4	56,0 6,7	59,5 7,1	81,4 9,7	124,9 14,9	50,5 6,0	60,0 7,1	68,7 8,2	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,10	702,0	мг %	36,4 5,2	44,4 6,3	17,9 2,6	32,5 4,6	42,3 6,0	42,3 6,0	22,5 3,2	62,0 8,8	42,6 6,1	44,1 6,3	26,5 3,8	50,0 7,1	
K <sub>2</sub> O	5,53	110,6	мг %	8,8 7,9	8,5 7,7	9,0 8,1	7,2 6,5	17,8 16,0	8,5 7,7	12,7 11,5	7,3 6,6	23,5 21,2	10,0 9,0	19,6 17,7	14,8 13,4	
Na <sub>2</sub> O	15,45	309,0	мг %	23,8 7,7	22,3 7,2	23,0 7,4	16,5 5,3	40,5 13,1	20,0 6,5	28,2 9,1	20,8 6,7	52,5 17,0	23,5 7,6	32,6 10,6	38,7 12,5	
<b>Среднее</b>				%	6,8	6,9	5,8	5,6	11,8	6,7	7,7	8,0	14,8	7,2	9,8	10,3

ТАБЛИЦА 19

Реакционная способность гуминовых кислот и фульвокислот в разложении мусковита по сравнению с действием соляной и лимонной кислот (данные [64], обработанные автором)

Окислы	Содержание, %	Содержание в пробе, мг	Выход в раствор	5 сут				100 сут				200 сут				
				Соляная	Лимонная	Фульвокислота	Гуминовая	Соляная	Лимонная	Фульвокислота	Гуминовая	Соляная	Лимонная	Фульвокислота	Гуминовая	
				мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	мг %	
SiO <sub>2</sub>	45,42	908,4	мг %	28,9 3,2	27,2 3,0	21,7 2,4	28,4 3,1	46,2 5,1	29,5 3,2	41,5 4,6	34,0 3,8	47,6 5,2	11,5 1,2	49,7 5,5	38,0 4,2	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,55	711,0	мг %	21,4 3,0	30,0 4,2	8,9 1,3	22,3 3,1	27,0 3,8	4,7 0,7	4,2 0,6	25,7 3,6	21,9 3,0	2,1 0,3	4,0 0,6	31,2 4,4	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,10	62,0	мг %	3,5 5,6	7,8 12,6	5,0 8,1	5,0 8,1	4,7 7,6	— —	2,4 3,8	5,4 8,7	3,6 5,8	0,2 0,3	1,5 2,4	6,3 10,2	
MgO	1,74	34,8	мг %	5,7 16,4	3,4 9,8	7,1 20,4	— —	2,0 5,7	4,3 12,4	4,8 13,8	— —	— —	— —	— —	0,9 2,6	
K <sub>2</sub> O	7,61	152,2	мг %	14,6 9,6	15,5 10,2	10,4 6,8	13,0 8,5	17,8 11,7	15,0 9,9	16,5 10,8	12,5 8,2	16,9 11,1	14,8 9,7	15,0 9,9	12,6 8,2	
<b>Среднее</b>				%	7,6	8,0	7,8	4,6	6,8	5,2	6,7	4,9	5,0	2,3	5,7	5,9

ТАБЛИЦА 20

Реакционная способность гуминовых кислот и фульвокислот в разложении вермикулита по сравнению с действием соляной и лимонной кислот (данные [64], обработанные автором)

Окислы	Содержание, %		Выход в раствор	5 сут			100 сут			200 сут					
	Содержание в пробе, мг			Соляная	Лимонная	Фульвокислота	Соляная	Лимонная	Фульвокислота	Гуминовая	Соляная	Лимонная			
	мг	%										Фульвокислота			
SiO <sub>2</sub>	33,3	665,2	мг	16,5 2,5	17,2 2,6	7,9 1,2	10,4 1,6	29,9 4,5	37,3 5,6	27,0 4,1	40,0 6,0	34,4 5,2	14,9 2,2	31,7 4,8	41,0 6,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,5	289,0	мг	11,1 3,9	2,1 0,7	1,3 0,4	4,5 1,6	2,4 0,8	14,5 5,0	2,3 0,8	11,1 3,9	0,6 0,02	1,0 0,03	2,3 0,8	10,3 3,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,4	107,4	мг	4,4 4,1	1,6 1,5	2,2 2,0	2,3 2,1	0,4 0,3	7,7 7,1	3,7 3,4	4,6 4,3	0,3 0,2	0,3 0,2	3,8 3,5	5,1 4,7
CaO	3,6	72,2	мг	18,1 25,1	38,5 53,3	27,6 38,2	21,3 29,5	39,9 55,3	25,0 34,6	36,9 51,1	29,8 41,2	41,5 57,5	23,0 31,9	30,5 42,2	28,6 39,6
MgO	22,2	443,0	мг	7,6 1,7	20,6 4,7	11,4 2,6	2,3 0,5	20,3 4,6	10,3 2,3	9,3 2,1	3,9 0,9	16,8 3,8	3,9 0,9	5,4 1,2	4,9 1,1
<b>Среднее</b>			%	7,5	12,5	8,9	7,1	13,1	10,9	12,3	11,2	13,3	7,1	10,5	11,0

ТАБЛИЦА 21

Сравнительная характеристика устойчивости минералов (%) при воздействии на них соляной, лимонной и гумусовых кислот (данные [64], обработанные автором)

Минерал	5 сут				100 сут				200 сут				
	Соляная	Лимон-ная	Гумин-овая	Фульво-кислота	Соляная	Лимон-ная	Гумин-овая	Фульво-кислота	Соляная	Лимон-ная	Гумин-овая	Фульво-кислота	Гумино-вая
Мусковит	7,6	8,0	7,8	4,6	6,8	5,2	6,7	4,9	5,0	2,3	3,7	5,9	-
Вермикулит	7,5	12,5	8,9	7,1	13,1	10,9	12,3	11,2	13,3	7,1	10,5	11,0	-
Нефелин	6,8	6,9	5,8	5,6	11,8	6,7	7,7	8,0	14,8	7,2	9,8	10,3	-
Среднее	7,3	9,1	7,5	5,8	10,5	7,6	8,9	8,0	11,0	5,5	8,0	9,0	-

ных торфяниках. К ведущим микроэлементам в гуминовых кислотах торфов относятся сурьма, ванадий, медь, иттрий и цирконий, а в фульвокислотах—олово, медь, цинк.

И. Н. Антипов и др. [1961 г.] придают большое значение хелатам в формировании иллювиальных горизонтов в кислых (подзолистых) почвах. Хелаты способны мигрировать в виде истинных растворов до тех пор, пока их устойчивость не будет нарушена. Такими стабильными соединениями являются отрицательно заряженные хелаты железа и алюминия. По мнению авторов, они могут образовываться в почвах при участии органических соединений, выделяемых как корневой системой растений, так и продуктами разложения растительных остатков. Устойчивость хелатов зависит от состояния напряжения их колцевой системы и от условий геохимической среды. В кислой среде хелаты железа стабильны, а в щелочной ( $pH > 10$ ) происходит распад хелата с образованием  $Fe(OH)_3$ . Хелаты чувствительны к свету и разлагаются под его действием с образованием гидроокислов металлов и продуктов распада органического вещества. Хелаты разрушаются также почвенными микроорганизмами.

В условиях гумидного климата с повышенной влажностью, характерной для Нечерноземной зоны РСФСР, процессы выветривания весьма активны. Немаловажную роль в них играют гуму-

ТАБЛИЦА 22  
Содержание микроэлементов (мг/кг) в золе гуминовых кислот и фульвокислот ископаемых углей,  
современных торфов и древних почв

Элементы	Угли						Древние почвы			Современный торф			
	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты		Гуминовые кислоты			Гуминовые кислоты			
	Подмосковный бассейн	Западный Донбас	Днепровский бассейн	Артемовское месторождение	Среднее	Подмосковный бассейн	Артемовское месторождение	Среднее	Подмосковный бассейн	Артемовское месторождение	Среднее	Гуминовые кислоты	Фульвокислоты
Be	0,9	1,2	6,3	0,3	2,2	0,2	0,8	0,5	0,5	0,2	0,4	0,3	—
Sb	275	400	300	150	281	—	50	25	—	—	—	275	—
Hf	50	50	100	—	50	—	100	50	—	—	—	100	—
Pb	16	5	32	7	15	10	200	105	13,5	1483	748,2	12	62
Nb	76	45	67	17	51	—	20	10	17,7	2,5	10,1	35	—
V	9	15	27	18	17	10	70	40	17,2	17,3	17,2	200	10
Mo	60	3	16	4	21	—	30	15	9,8	0,5	5,2	7	7
Sn	125	27	70	80	75	—	30	15	7,4	4,9	6,1	170	1020
Li	100	—	70	—	42	—	—	—	—	—	—	50	100
Ag	1	1	1	3	1,5	—	1	0,5	1,5	1,7	1,6	5	70
Cu	237	40	320	80	170	400	300	350	980	74,2	527	270	940
Y	10	5	20	—	9	—	70	35	7,9	9,9	8,9	285	—
Yb	—	—	—	—	—	—	3	1,5	0,7	—	0,3	6	—
Zn	220	50	250	100	155	150	400	275	368	74,2	221	100	800
Zr	750	450	1100	250	640	10	150	80	49	32,1	40,5	235	100
Co	12	5	27	10	14	30	10	20	—	—	—	10	—
Ni	70	63	110	50	74	800	320	560	171,5	19,8	95,6	60	—
W	—	—	—	55	14	—	10	5	2,5	—	1,3	15	—
La	—	—	—	—	—	—	—	—	24,5	—	12,2	—	—
<b>Сумма</b>	<b>2011,9</b>	<b>1160,2</b>	<b>2516,3</b>	<b>824,3</b>	<b>1631,7</b>	<b>1410,2</b>	<b>1764,8</b>	<b>1587,5</b>	<b>1671,7</b>	<b>1720,3</b>	<b>1695,6</b>	<b>1835,3</b>	<b>3109,0</b>

Примечание. Жирным шрифтом дано повышенное содержание ведущих микроэлементов.

ТАБЛИЦА 23

## Содержание микроэлементов в гуминовых кислотах и фульвокислотах почв Ленинградской области

Почвы	Кислоты	Микроэлементы, мг/кг сухого вещества											
		Cu	Zn	Pb	Mo	V	Co	Ni	Ba	Mn	B	Сумма	P
Дерново-слабоподзолистая глеевая на ленточной глине	Гуминовая	6	10	0,2	0,4	40	0,4	1,6	6	10	4	78,6	400
	Фульвокислота	25	100	0,4	—	4	0,9	15	50	5	—	200,3	2500
Дерново-среднеподзолистая поверхности-оглеенная на ленточной глине	Гуминовая	16	12	—	0,4	2	0,6	0,6	2	6	0,6	40,2	100
	Фульвокислота	45	150	—	—	0,5	1,2	5	50	5	—	256,7	2500
Дерново-среднеподзолистая на безвалунной глине	Гуминовая	40	40	0,2	0,4	4	0,2	0,4	2	1,2	2	90,4	200
	Фульвокислота	50	150	50	—	—	2,1	10	150	0,5	—	412,6	500
Дерново-сильноподзолистая поверхности-оглеенная на карбонатной морене	Гуминовая	8	16	0,6	10	6	0,2	0,6	2	2	1	46,4	100
	Фульвокислота	15	150	3	—	0,5	1,4	5	50	1,5	—	226,4	1000
Подзолистая иллювиально-железистая на двучленной породе	Гуминовая	6	2	0,2	2	0,2	—	—	2	2	0,2	14,6	не опр.
	Фульвокислота	15	50	15	1	—	0,5	5	450	0,5	—	537	»
Торфяно-болотная	Гуминовая	12	3	0,4	0,1	—	0,3	2	не определялись	—	—	17,8	»
	Фульвокислота	381	136	5	0,5	—	3	6	»	—	—	531	»

Примечание. Жирным шрифтом дано повышенное содержание ведущих микроэлементов.

совые кислоты почв, они участвуют как в перераспределении химических элементов по горизонтам почвенного профиля, так и в выносе их за пределы почвенного покрова. Особенно агрессивно проявляют себя фульвокислоты в почвах, сильно затронутых процессами подзолообразования. Это можно подтвердить данными табл. 23. Подзолы иллювиально-железистые, развитые на двучленной породе, содержат в гуминовых кислотах микроэлементов 14,6 мг/кг, а в фульвокислотах 537 мг/кг. Следовательно, здесь активность фульвокислот в 37 раз выше, чем гуминовых кислот. Для торфяно-болотных почв это соотношение равно 30, а для слабоподзолистой глеевой почвы, развитой на ленточной глине, оно составляет всего 2,5.

На миграционную способность органоминеральных комплексов влияют следующие факторы [78].

**1. Размеры и сложность молекулы органического соединения, его молекулярная масса и число комплексообразующих групп.** Максимальной миграционной способностью обладают оксикарбоновые кислоты простого строения и небольшой молекулярной массы. В комплексе с ними легко мигрируют такие химические элементы (цирконий, золото и др.), которые в обычных условиях гипергенеза отличаются весьма малой миграционной подвижностью.

По данным Л. Энерглина и Л. Бредина [Energlin L., Bredin L., 1971 г.], аланин и ряд других аминокислот оказывают сильное влияние на растворимость обычно нерастворимых сульфидов марганца, кобальта, никеля, железа, меди и большинства других металлов. Карбонаты, фосфаты и силикаты также довольно свободно растворяются в присутствии рибонуклеата, галактурата, глюконата и дезоксирибонуклеата натрия.

**2. Ионный радиус и валентность химических элементов, вступающих в реакцию с гумусовыми кислотами.** Химические элементы с малым ионным радиусом и большой валентностью в составе органоминеральных комплексов способствуют миграции высокомолекулярных гумусовых веществ сложного строения.

**3. Геохимическая обстановка.** При повышенной кислотности и влажности в условиях оподзоливания почв складывается наиболее благоприятная обстановка для миграции большинства органоминеральных комплексов.

**4. Присутствие в растворе химических элементов-коосадителей, в частности породообразующих.** Породообразующие элементы влияют на смещение порога коагуляции гуминовых кислот с некоторыми микроэлементами (табл. 24). Так, если германий коагулирует с гуминовой кислотой в пределах  $\text{pH}=2,8 \div 4,2$ , то в присутствии окислов железа и алюминия порог коагуляции смещается до пределов  $\text{pH}=3 \div 6$ ; если же в растворе присутствует кальций, то начало коагуляции смещается в слабокислую среду и процесс происходит в узких границах  $\text{pH}=5 \div 5,5$ . Присутствие железа сдвигает начало коагуляции гуминовой кислоты с галлием в сторону кислой среды ( $\text{pH}=3$ )

и расширяет границы коагуляции до  $\text{pH}=8$ . Весьма интересно отметить, что одновременное присутствие алюминия и галлия обусловливает два порога коагуляции. Первый относится к кислой среде с узкими пределами  $\text{pH}=3 \div 4$ , второй — к щелочной среде  $\text{pH}=6 \div 8$ . В диапазоне  $\text{pH}=4 \div 6$  эта тройная смесь находится в растворенном состоянии. Кальций, магний и кремнезем оказывают примерно одинаковое влияние на порог коагуляции гуминовых кислот и галлия — в пределах  $\text{pH}=3 \div 5$ .

ТАБЛИЦА 24

Порог коагуляции (показатель  $\text{pH}$  среды) гуминовых кислот в присутствии некоторых редких и породообразующих элементов [45]

Элементы	С гуминовой кислотой	С гуминовой кислотой в присутствии				
		железа	алюминия	кальция	магния	кремнезема
Ge	2,8—4,2	3—6	3—6	5,0—5,5	—	—
Ga	4,3—5,5	3—8	3—4 и 6—8	3—5	3—4	4—5
Sc	3,6—6,4	3—8	3—8	3—7	—	3—5
Zn	2,8—3,8	3—8	3—8	3—8	3—8	4—5
Pb	5,8—5,9	—	—	—	—	—
Mo	2,1	—	—	—	—	—
$\text{WO}_4^{2-}$	2,5	—	—	—	—	—
$\text{VO}_3^-$	2,0—2,5	—	—	—	—	—

В опытах со скандием и цинком в присутствии кальция и магния, железа и алюминия происходит расширение границ коагуляции, а в присутствии кремнезема — их сокращение (для скандия). Порог коагуляции свинца лежит в слабокислой среде ( $\text{pH}=5,8 \div 5,9$ ), а молибдена, вольфрама и ванадия — в кислой ( $\text{pH}=2,1 \div 2,5$ ). В. Н. Пилипушки [1973 г.] установил оптимальное значение  $\text{pH}$  для образования комплексных соединений кобальта: с гуминовой кислотой — в пределах  $\text{pH}=3,0$ , с фульвокислотами — в пределах  $\text{pH}=6,5 \div 8$ .

Миграция органического вещества и микроэлементов из минеральных и торфяно-болотных почв происходит в основном в виде комплексных органоминеральных соединений, главным образом фульвокислот и низкомолекулярных оксикарбоновых кислот циклического и простого строения. Только в составе вод верховых торфяников с высокой кислотностью имеются гуминовые кислоты в повышенных концентрациях.

5. Упрощение молекул гумусовых кислот в процессе оподзоливания. При этом в составе гумусовых кислот сокращается число комплексообразующих групп, что оказывает соответствующее влияние на минеральный состав органоминеральных комплексов. Так, гуминовая кислота имеет больше комплексообразующих групп, чем фульвокислота, что позволяет ей всту-

пать в реакцию со многими химическими элементами — металлами и неметаллами. Фульвокислоты, образующиеся в процессе оподзоливания и окисления гуминовых кислот, содержат меньшее число комплексообразующих групп и соответственно вступают в реакцию с меньшим числом химических элементов, причем сокращается в основном набор неметаллических ионов. При глубоком процессе оподзоливания фульвокислоты окисляются с образованием оксикарбоновых кислот с прямой и циклической цепью углеродных атомов; эти кислоты в малой степени облашают комплексообразующими свойствами, в большей степени они способны давать соли разных металлов.

Современные методы интенсивного землепользования с применением новейшей сельскохозяйственной техники ускоряют процессы оподзоливания, что обусловливает потери гумуса, и в первую очередь наиболее ценных фракций активного гумуса. К настоящему времени, как пишут И. А. Крупенников и др. [1981 г.], в пахотных черноземах Молдавии, Украины, РСФСР, Казахстана утрачено 20—30 % исходного запаса гумуса. Д. Д. Брежнев и др. [7] отмечают, что в последние годы для повышения плодородия почв уделялось большое внимание минеральным удобрениям и незаслуженно недооценивалась роль органического вещества. В пахотном слое дерново-подзолистых почв суглинистого механического состава содержание гумуса не превышает 1,7—2 %, в супесчаных — 0,8—1,5 %, тогда как равновесное состояние, необходимое для хороших урожаев, должно быть значительно выше. Бездефицитный баланс этого важного питательного (энергетического) вещества в почве может быть создан только систематическим внесением органических удобрений не менее 10—15 т/га. Среднегодовое же применение органического вещества по стране составляет 3,6 т/га, а по РСФСР и того меньше — 2,8 т/га [7].

## ЧАСТЬ II

# ГЕОХИМИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

## ГЛАВА 4

### РОЛЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНЕНДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМОВ

Жизнь на Земле обязана своим зарождением не только абиогенному органическому веществу, но и многим химическим элементам, и в первую очередь биологически активным микроэлементам, которые в сложных органоминеральных соединениях выполняют определенные жизненные функции. П. А. Власюк и др. [15] в своей фундаментальной работе дают описание участия некоторых химических элементов в жизнедеятельности организмов. Ниже приведены данные о биологически активных микроэлементах.

**Литий.** Способствует улучшению роста растений и повышению их продуктивности, увеличению содержания крахмала в картофеле, сахаров и аскорбиновой кислоты; предохраняет пшеницу от поражения мучнистой росой и ржавчиной. Обнаружен в некоторых органах и мышцах человека. Успешно применяется в виде бензоата лития при лечении почечно-каменной болезни, полиартритов, подагры.

При повышенных концентрациях в почве тормозит поступление кальция в растениях.

**Натрий.** Усиливает рост и развитие растений, способствует скороспелости. У человека и животных находится в плазме крови и обеспечивает постоянный уровень осмотического давления, нормальную работу сердечной мышцы (ее ритм).

При избытке натрия повышается хрупкость сосудов, нарушается водный баланс организма.

**Калий.** Способствует усвоению углекислоты из воздуха, принимает участие в синтезе, накоплении и передвижении углеводов из листьев к корням; оказывает заметное влияние на синтез и накопление белков; улучшает азотный обмен, влияет на образование хлорофилла, сахарозы, фруктозы и крахмала. Человеку калий необходим для фосфорилирования адениловой кислоты, являющейся поставщиком энергии для биохимических процессов. Принимает участие в поддержании ионного равновесия в организме.

При недостатке калия у растений снижается жизнедеятельность, а у животных ухудшается аппетит, замедляется рост, понижается возбудимость нервной системы; появляются болезни суставов, наступает истощение, приводящее к параличу сердца.

**Медь.** Является составной частью целого ряда окислительных ферментов; оказывает положительное действие на фотосинтез, образование хлорофилла, синтез белковых веществ в растениях. У человека и животных медь способствует синтезу гемоглобина крови, ускоряет созревание эритроцитов; помогает построению и регенерации костной ткани; усиливает гипогликемический эффект инсулина, препятствует распаду гликогена в печени. Особенно необходима медь для развивающегося плода беременной женщины, она накапливается в печени плода, а затем в грудном возрасте ребенка интенсивно расходуется.

Недостаток меди в организме животных вызывает болезни лизуху и анемию. У человека страдает кроветворная функция организма, особенно у детей, что приводит к анемии. Избыток меди вызывает у ягнят перерождение печени и развитие желтухи, а у человека — острый панкреатит, язву двенадцатиперстной кишки, бронхиальную астму.

**Магний.** Является составной частью хлорофилла, участвует в окислительно-восстановительных процессах и регулировании ферментальной деятельности растительных организмов. В эфирной форме (в виде фосфатов) находится в протоплазме и в форме неорганических солей — в клеточном соке. Участвует в поддержании коллоидно-химических свойств органондов клетки; активирует различные ферменты, процессы дыхания и брожения. Участвует в синтезе нуклеиновых кислот и в углеводном обмене. В организме животного используется для образования костей и мышц; более 60 % магния находится в костях и в головном мозге. Входит в состав ферментов (карбоксилиазу, энолазу и др.) и активирует их. Магний способствует выведению холестерина из организма, проявляет сосудорасширяющее действие; стимулирует перистальтику кишечника, желчеотделение.

При резком уменьшении содержания магния у животных развивается тяжелое заболевание (тетания), замедляющее рост, повышающее возбудимость. Избыток магния усиливает торможение процессов в центральной нервной системе человека, понижает артериальное давление. Очень высокое содержание магния в крови вызывает магнезиальный наркоз или сонливость, что устраняется введением в кровь соли кальция.

**Алюминий.** Азотокислый алюминий повышает засухоустойчивость растений, содержание РНК и ДНК. В молодых листьях подсолнечника при засухе алюминий усиливает биосинтез белка и способствует увеличению содержания нуклеиновых кислот. В животном организме он концентрируется в мозгу, печени, легких и связан в основном с белками. Алюминий участвует в построении эпителиальной и соединительной тканей. Соли алюминия стимулируют выделение стенками желудка соляной кислоты и способствуют возбуждению центральной нервной системы.

Вредное влияние оказывает алюминий при повышенных его концентрациях в первую очередь на корневую систему растений.

У животных и человека происходит торможение кровеобразовательного процесса, нарушение обмена фосфора с развитием ракита.

**Свинец.** В небольших количествах (5—10 мг/кг) повышает содержание крахмала, ускоряет прорастание растений. В организме человека и животных содержание свинца составляет в среднем 1 мг/кг. Чаще всего он встречается в печени, селезенке, костях, костном мозге, в когтях птиц, шерсти животных, в молоке.

При повышенном содержании свинца в организме животных и человека развиваются малокровие, общая слабость, туберкулез, происходит перерождение тканей, печени и почек.

**Фосфор.** Физиологическая роль фосфора очень велика. Он является составной частью нуклеиновых кислот, которые в соединении с простыми белками образуют сложные белки нуклеопротеиды, входящие в состав протоплазмы и клеточного ядра. Фосфатиды являются обязательным компонентом протоплазмы растительных и животных организмов. Фосфор входит в состав некоторых ферментов. С фосфорной кислотой связаны процессы фотосинтеза, брожения и обмена азота. Фосфор принимает участие в создании и буферности клеточного сока. У животных и человека в костях находится до 90 % всего фосфора, в мышцах до 10 %, а в нервной ткани до 1 %. Он влияет на мышечные сокращения, построение нервной и костной ткани. Лецитин (органический эфир фосфорной кислоты) стимулирует образование эритроцитов крови, яичного желтка, спермы. Фосфор участвует в углеводном, протеиновом и жировом обмене.

При недостатке фосфора происходит фосфорное голодание, приводящее к замедлению роста побегов и листьев плодовых растений, ослаблению формирования почек и сокращению плодоношения. На листьях появляется крапчатость в виде бурых и желтых пятен, наблюдается увядание и отмирание листьев. Животные больше всего страдают от недостатка фосфора зимой. У них понижается аппетит, замедляется рост, появляется хромота, теряется способность к воспроизведству, телята рождаются слабыми или даже мертвыми. Людям напряженного умственного труда необходимо употреблять повышенное количество фосфора, чтобы не допустить истощения нервных клеток. Недостаток фосфора приводит к снижению трудоспособности, развитию неврозов и связанных с ним головных болей, а также к глубоким расстройствам всего организма.

**Ванадий.** Установлена положительная роль ванадия в фотосинтезе, повышении содержания хлорофилла в растениях, фиксации азота микроорганизмами, в увеличении РНК. Ванадий влияет на углеводный и липоидный обмен. По своему действию на рост растений ванадий сходен с молибденом, а поэтому в ряде случаев он используется вместо молибдена. У животных и человека ванадий больше всего концентрируется в зубах и ко-

стях (у животных, кроме того, и в копытках). Соли ванадия способствуют снижению концентрации сахара в крови.

Отмечен антагонизм между марганцем и ванадием в костях свиней. Растворимые соли ванадия обладают высокой токсичностью.

**Хром.** Используется растениями в небольших количествах, но его физиологическая роль еще не изучена. Хром в животном организме концентрируется больше всего в легких, печени, селезенке, мышцах. Он входит в состав фермента пепсии.

Недостаток хрома вызывает заболевание глаз, нарушение углеводного обмена и, возможно, диабет.

**Кальций.** Способствует лучшей фиксации азота из атмосферы, минерализации органического вещества и освобождению различных питательных веществ (азот, фосфор, калий). Кальций участвует в синтезе белковых веществ, способствует образованию хлорофилла, влияет на формирование клеточных стенок и на передвижение ассимиляторов растений. Нейтрализует вредную для растений щавелевую кислоту, возникающую в клетках при распаде белков. В животных организмах до 99 % кальция концентрируется в костях. Он входит в состав протоплазмы, ядер клеток и межклеточных веществ. Способствует свертыванию крови, замедляет действие токсинов, снижает температуру тела, ослабляет возбудимость нервной системы, повышает устойчивость организма к инфекциям.

Недостаток кальция в растениях снижает развитие их корневой системы, отрицательно сказывается на росте большинства плодовых деревьев. У молодняка животных и у детей недостаток кальция вызывает ракит, а у взрослых — остеомаляцию и остеопороз (нарушение окостенения хрящевой ткани). Вынос солей кальция и фосфора из костной ткани приводит к постепенному размягчению, искривлению и ломке кости под тяжестью тела. Избыток кальция замедляет рост животных. У человека возникают рвота, жажда, заизвесткование сосудов, особенно в почках.

**Стронций.** Способствует интенсивному образованию генеративных органов, повышению сахаристости плодов, накоплению железа в листьях яблони. В организме человека принимает участие в процессе костеобразования.

Избыток стронция в растениях приводит к нарушению формирования опорных тканей, изменению репродуктивных органов, недоразвитию скелетных элементов у злаков. В организме человека и животных стронцием вытесняется кальций из костной ткани, что приводит к болезни «стронциевый ракит», вызывающий ослабление костной ткани. При этом наблюдаются отставание в росте, истощение, облысение, нарушение воспроизведения, низкая продуктивность животных, появление стронциевого зоба.

**Барий.** Повышает энергию прорастания и всхожести семян, урожай плодов, их сахаристость и количество витамина С. У че-

ловека и животных барий установлен в костях, артериях, поджелудочной железе, сыворотке крови, в мозгу. Относительно много бария в сетчатой оболочке глаз.

Растворимые соли бария очень ядовиты, поэтому накопившие их растения являются источником отравления животных.

**Цинк.** В растениях активно участвует в окислительно-восстановительных процессах; стабилизирует дыхание; помогает превращениям соединений, содержащих сульфидрильные группы. Играет важную роль в фосфорном и углеводном обмене, способствует синтезу нуклеиновых кислот и белка, регулирует синтез крахмала, оказывает влияние на процесс плодоношения. У человека и животных регулирует процесс кроветворения, оказывает влияние на обмен углеводов и белков, на окислительно-восстановительные процессы и функцию половых желез. Снижает уровень сахара в крови больных диабетом. Входит в состав ферментов, участвующих в процессах связывания тканями кислорода и выделения легкими углекислоты, в образование соляной кислоты в желудке. Сохраняет четкость зрения.

При недостатке цинка падает активность ферментов, участвующих в расщеплении углекислоты в растениях; нарушается окислительное фосфорилирование, появляются болезни листьев; угнетается развитие яйцеклетки и зародыша гороха; растения вегетируют, но семян не производят. Соли цинка задерживают свертывание молока, угнетают рост дифтерийных микробов и бацилл тифа, снижают возбудимость и проводимость нервных волокон.

**Бор.** Способствует увеличению содержания хлорофилла, стимулирует фотосинтез; играет важную роль в нуклеиновом обмене, делении клеток и построении клеточных оболочек; повышает активность ферментов сахарозы, каталазы, пероксидазы; способствует оплодотворению; повышает урожайность овощей. У человека и животных бор оказывает влияние на процессы обмена веществ, особенно на углеводный. Снижает содержание сахара в крови, улучшает состояние пораженной поджелудочной железы. Бор накапливается в селезенке, меньше в почках и головном мозге, еще меньше в мышцах и печени.

При недостатке бора у растений возникает болезнь «борное голодание», приводящая к снижению РНК у подсолнечника и картофеля. При избытке бора у человека может развиться дистрофия семенников, животные заболевают воспалением легких; кроме того, ухудшается переваривание белковых веществ, что приводит к возникновению энтеритов. Медь является антагонистом бора и блокирует его действие.

**Молибден.** Возможно, является катализатором биологического связывания атмосферного азота, участвует в окислительно-восстановительных процессах. Молибден локализуется в клеточном соке, клубеньковых бактериях; входит в ферменты, принимающие участие в тканевом дыхании; оказывает положительное действие на вегетативные и генеративные органы; способствует увеличению массы семян и повышению содержания

сахара в свекле. В животном и человеческом организме молибден стимулирует развитие, повышает иммунобиологические защитные силы против инфекционных заболеваний, улучшает рост и прочность волос.

При недостатке молибдена уменьшается содержание общего и белкового азота, замедляется восстановление нитритов. «Молибденовое голодание» у растений возникает при содержании его меньше 0,1 мг/кг. При избытке молибдена в организме животных наблюдается токсикоз — отравление, сопровождаемое поносом, истощением, снижением продуктивности, иногда ломкостью костей. У человека нарушается пуриновый обмен веществ, что приводит к увеличению синтеза мочевой кислоты, повышенному отложению солей в суставах и развитию подагры.

**Марганец.** Участвует в фотосинтезе и дыхании, регулирует окислительно-восстановительные процессы в зависимости от условий питания растений. Так, при питании азотом марганец ведет себя как восстановитель, а при аммиачном питании — как сильный окислитель. Марганец находится преимущественно в хлоропластах, способствует фиксации азота, увеличивает количество аминокислот; ускоряет спиртовое брожение и аэробное окисление углеводов; активирует ряд ферментов, особенно те, которые катализируют окислительно-восстановительные процессы. В организме животных является стимулятором роста, оказывает влияние на размножение и развитие; повышает окисление жиров, выделение азота из организма; способствует синтезу и усвоению витаминов А, В, С; помогает окостенению скелета. Влияя на железы внутренней секреции, марганец противодействует отложению жиров в печени, принимает активное участие в выработке защитных сил организма, способствует повышению антитоксичности сыворотки крови. Соли марганца, введенные в кровь диабетиков, усиливают способность инсулина снижать содержание сахара.

При длительном воздействии соединений марганца на организм человека появляются резкие его изменения, особенно в половой сфере (нарушения менструального цикла и развития плода у беременных; снижение подвижности сперматозоидов у мужчин). При хроническом отравлении марганцем поражается центральная нервная система, возникают марганцевая пневмония, цирроз печени. Нарушение соотношения марганца с азотом, калием и кальцием может привести к раку пищевода и желудка.

**Кобальт.** Его физиологическая роль для растений велика и разнообразна. Кобальт повышает урожай картофеля и содержание в нем крахмала. Усиливает биосинтез белка, увеличивает содержание аскорбиновой кислоты, ускоряет цветение растений клевера и повышает урожай овощей. Кобальт является важным фактором роста для всех живых организмов, и особенно микрорганизмов. Он играет большую роль в кроветворных процессах; стимулирует работу костного мозга и синтез гемоглобина;

входит в комплекс витамина В<sub>12</sub>, необходимого для построения эритроцитов. Кобальт участвует в окислительно-восстановительных процессах, обмене углеводов и жиров. Под его влиянием в организме накапливаются витамины А, В, С, К.

При недостатке кобальта у животных развивается сухотка, сопровождаемая анемией, потерей аппетита, истощением и гибелью. Соли кобальта, введенные в организм животных, снижают болезнь, повышают его защитные силы. У людей, страдающих спазмами желудочно-кишечного тракта, они улучшают моторную деятельность, а также кровоснабжение сердечной мышцы.

**Никель.** Биологическая роль никеля пока изучена слабо, хотя он встречается во всех растительных и животных организмах. Никель оказывает заметное влияние на урожай сельскохозяйственных культур, особенно картофеля. В организмах животных он накапливается в печени, почках, поджелудочной железе, легких, плазме крови. Много никеля концентрируется в шерсти, коже, рогах, в роговице глаз. В небольших количествах никель повышает активность фермента пепсин и улучшает кроветворный процесс.

При повышенных содержаниях никеля в роговице глаз возникает кератит и становится возможным появление бельма (никелевая слепота). Этой болезнью чаще страдают ягнята и телята (эндемический характер). У лиц, работающих с соединениями никеля, может возникнуть профессиональное отравление — никелевая экзема кожи.

Экологическая связь организмов с геохимической средой осуществляется через миграцию химических элементов в биосфере и во многом зависит от геохимической обстановки, климата, физико-химического состава почвообразующих пород, являющихся кладовой микроэлементов, а также от агрофизических и агрохимических свойств почвенного покрова. Основой же геохимической экологии, как пишет В. В. Ковалевский [31, 32], является изучение адаптации растений и животных к геохимической среде. Среда эта неоднородна и характеризуется значительным разнообразием химического состава почв и почвообразующих пород [12]. Так, почвы одних территорий Советского Союза бедны теми или иными микроэлементами, а почвы других территорий богаты ими. Растения, произрастающие на этих почвах, отражают содержание в них химических элементов, что видно из табл. 25, в которой приведены средние содержания микроэлементов в растениях-торфообразователях некоторых районов СССР. Таблица составлена на основании исследования более 500 образцов современных растений (древесные, кустарнички, травы), произрастающих вблизи торфяных болот.

Отношение содержания микроэлементов в растениях каждого региона к их среднему содержанию по всем регионам (фон) позволяет определить концентрации этих элементов в болотной растительности каждого региона. Установлено умень-

ТАБЛИЦА 25  
Распределение микроэлементов в болотном растительном покрове [75]

Элементы	Кольский полуостров		Карелия		Ленинградская область		Новгородская область		Смоленская и Калужская области		Кавказ		Камчатка		Фон (среднее содержание по изученным районам), мг/кг	
	$(A^c = 6,9 \%)$		$(A^c = 9,1 \%)$		$(A^c = 5,4 \%)$		$(A^c = 4,0 \%)$		$(A^c = 4,5 \%)$		$(A^c = 20,2 \%)$		$(A^c = 7,3 \%)$			
	мг/кг	K	мг/кг	K	мг/кг	K	мг/кг	K	мг/кг	K	мг/кг	K	мг/кг	K		
Be	0,12	0,25	0,13	0,27	0,12	0,25	0,09	0,18	0,005	—	2,01	4,10	—	—	0,49	
Sc	0,12	0,17	0,09	0,12	—	—	—	—	—	—	2,01	2,71	—	—	0,74	
V	5,03	0,14	9,09	0,25	8,59	0,23	2,58	0,07	0,32	0,008	15,50	0,42	216,10	5,88	36,74	
Co	4,21	2,70	1,73	1,11	1,77	1,13	2,28	1,46	0,09	0,06	0,2	0,13	0,60	0,38	1,55	
Ni	38,96	3,69	4,77	0,45	15,71	1,43	3,64	0,34	0,41	0,04	—	—	0,50	0,05	10,67	
Cu	7,56	0,23	5,64	0,17	38,80	1,17	10,40	0,31	20,70	0,63	147,40	4,45	1,20	0,04	33,10	
Zn	11,04	0,11	27,27	0,27	92,40	0,91	38,20	0,38	48,10	0,47	474,50	4,68	18,10	0,18	101,40	
Ga	0,25	0,29	0,46	0,46	—	—	—	—	0,25	0,29	2,83	3,25	0,60	0,69	0,87	
Y	0,34	1,41	0,09	0,38	0,50	2,08	0,20	0,83	0,05	0,21	—	—	—	—	0,24	
Zr	2,62	0,25	30,60	2,97	7,10	0,69	8,30	0,81	4,00	0,39	12,10	1,18	7,40	0,72	10,30	
Mo	0,09	0,13	0,74	1,07	0,06	0,09	0,68	0,99	0,53	0,77	2,01	2,91	—	—	0,69	
Sn	0,55	0,06	0,82	0,08	1,76	0,18	1,08	0,11	0,01	0,001	64,60	6,53	0,60	0,06	9,90	
La	1,21	0,58	4,55	2,19	3,90	1,88	2,00	0,96	0,21	0,1	—	—	0,60	0,29	2,08	
Ce	6,90	1,11	8,18	1,32	3,50	0,57	—	—	—	—	—	—	—	—	6,19	
Yb	0,34	0,68	0,09	0,18	0,02	0,04	0,04	0,08	—	—	2,01	4,02	—	—	0,50	
Pb	0,76	0,07	6,82	0,61	6,80	0,60	1,80	0,16	0,05	0,004	60,60	5,44	1,17	0,11	11,14	
Сумма	80,10	0,74	101,00	0,74	181,03	0,80	71,29	0,51	74,72	0,24	785,77	3,24	246,87	0,82		

Примечание. Жирным шрифтом дано повышенное содержание ведущих микроэлементов.

шение коэффициента концентрации  $K$  микроэлементов в растениях от Ленинградской области к Смоленской и Калужской областям, что, по-видимому, связано с удалением их от источника сноса — Балтийского кристаллического щита. Микроэлементы неодинаково распределяются и в органах растений, что видно на примере кукурузы (табл. 26), больше всего содержится их в листьях кукурузы.

ТАБЛИЦА 26  
Распределение микроэлементов в различных органах кукурузы

Микро- элементы	Листья		Стебли		Метелки		Початки		Среднее содержание (фон), мг/кг
	мг/кг	$K$	мг/кг	$K$	мг/кг	$K$	мг/кг	$K$	
Ba	236,0	3,64	15,0	0,23	5,4	0,08	2,8	0,04	64,8
Sr	72,0	2,05	44,0	1,25	19,0	0,54	5,9	0,17	35,2
Zr	53,0	2,66	3,5	0,18	2,8	0,14	0,4	0,02	19,9
Ti	36,0	0,95	110,0	2,91	4,8	0,13	0,1	0,002	37,7
Zn	34,0	1,66	11,0	0,53	22,0	1,07	15,0	0,73	20,5
Cu	8,0	1,45	4,7	0,85	5,5	1,00	3,6	0,65	5,5
Cr	1,2	0,85	0,4	0,29	1,2	0,86	2,7	1,93	1,4
Pb	1,2	1,33	1,0	1,11	0,8	0,89	0,4	0,44	0,9
V	0,6	1,00	0,4	0,67	0,6	1,00	0,9	1,50	0,6
Ni	0,5	1,00	0,5	1,00	0,5	1,00	—	—	0,5
Ag	0,2	0,02	35,0	3,19	0,1	0,01	8,5	0,78	10,9
Mo	0,2	0,57	0,1	0,18	0,8	2,85	0,1	0,36	0,3
Сумма	442,9	1,43	225,6	1,03	63,5	0,79	40,4	0,57	

Геохимическая экология опирается на пороговую чувствительность организмов к недостатку или избытку определенных химических элементов в почве, питьевой воде, кормах и пищевых продуктах. Совершенно очевидно, что, установив влияние содержаний микроэлементов в растениях на закономерности их развития, можно воздействовать на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность животноводства [59, 60]. Развитие этого научного направления, заложенного А. П. Виноградовым, В. В. Ковалевским и другими исследователями, которые разработали принципы биогеохимического районирования почв Советского Союза, исходит из единства геохимической среды (почвообразующие породы — природные воды — почвы) и физиологических и биохимических свойств организмов, которые определяются природными и искусственно регулируемыми биогеохимическими пищевыми цепями.

В. В. Ковалевский [30] разделил всю территорию СССР на следующие биогеохимические зоны: 1) таежно-лесную нечерноземную; 2) лесостепную и степную черноземную; 3) сухостепную, полупустынную и пустынную; 4) горную. Каждая из этих зон неоднородна и может быть в свою очередь подразделена на

биогеохимические провинции, в которых комбинируются признаки разных зон по концентрации или деконцентрации химических элементов и их соотношению. Зональные биогеохимические провинции, как правило, переходят одна в другую постепенно, но иногда имеют довольно резко выраженные границы. Кроме биогеохимических В. В. Ковальский выделяет также геохимические провинции, богатые теми или иными элементами: кобальтом, медью, молибденом, никелем, свинцом, фтором, марганцем, селеном и др. Он установил также закономерный характер физиологической и биохимической изменчивости организмов в зависимости от геохимических факторов среды.

В таежно-лесной нечерноземной зоне основные изменения обмена веществ определяются недостатком кобальта (ослабление синтеза витамина  $B_{12}$ ), меди (задержка синтеза меди- и железосодержащих ферментов), иода (торможение функции щитовидной железы), одновременно иода и кобальта (еще более сильное торможение синтеза гормонов щитовидной железы), кальция и фосфора (нарушение образования минерального вещества костей) при относительном увеличении содержания стронция (развитие хондродистрофии). В сухостепной, полупустынной и пустынной зоне у животных часто наблюдается ослабление тканевых окислительных процессов, что вызывается физиологическим недостатком меди и избытком молибдена и сульфатов, а особенно бора. В лесостепной и степной черноземной зоне благодаря лучшей сбалансированности в кормах и пищевых рационах многих элементов: меди, кобальта, иода, молибдена, бора, сульфатов, кальция и фосфора — изменений обмена веществ, характерных для вышеуказанных зон, обычно не наблюдается. Обработка нами большого фактического материала, собранного В. В. Ковальским, дает представление о среднем валовом содержании ведущих микроэлементов в почвах различных биогеохимических зон (табл. 27). Из этой таблицы видно, что в нечерноземной зоне содержание всех ведущих микроэлементов ниже фонового.

Для обеспечения растений микроэлементами важно не их валовое содержание в почве, а содержание этих элементов в подвижной форме. Подвижность же микроэлементов в почвах зависит от того, входят ли они в кристаллическую структуру минералов или химически связаны с органическим веществом (гумусом), коллоидами почв (глинами), а также от геохимической обстановки почв и от климата (времени года). По данным Г. П. Бондаренко [1962 г.], динамика подвижных форм элементов в почвах разная (табл. 28) и зависит от стадии вегетационного периода. В частности, для меди максимальная подвижность составляет 23,2 % от валового ее содержания (приходится на июль), для кобальта — 12,73 % (июль), цинка — 20,99 % (октябрь), никеля — 17,18 % (август).

Выражение подвижных форм в процентах к валовому содержанию не отражает действительную потребность растений

ТАБЛИЦА 27  
Среднее содержание микроэлементов (мг/кг) в почвах  
различных биогеохимических зон

Биогеохимическая зона	Cu	Co	Mo	Zn	B
Таежно-лесная нечерноземная	16,5	4,7	2,0	33,1	61,3
Лесостепная и степная черноземная	25,8	11,2	2,9	62,5	102,4
Серые лесные почвы	24,0	6,4	2,0	73,0	105,4
Черноземные почвы	27,7	16,0	3,8	60,0	107,3
Сухостепная, полупустынная и пустынная	27,4	5,5	3,3	71,9	108,1
Горная	31,1	10,6	2,7	55,0	99,4
Среднее (кларковое) содержание по почвам СССР	25,2	7,0	2,7	55,6	90,5
Пределы для нормальной регуляции функций организмов	15—60	7—30	1,5—4,6	3—7	3—30

ТАБЛИЦА 28  
Зависимость подвижности микроэлементов от вегетационного периода (почва торфянисто-перегнойно-глеевая)

Время наблюдения	Микроэлементы, % от валового содержания			
	Cu	Zn	Co	Ni
Май	13,30	20,67	5,37	8,70
Июнь	8,75	11,33	9,20	3,62
Июль	23,20	11,47	12,73	3,98
Август	11,05	18,76	9,90	17,18
Сентябрь	13,27	17,06	3,36	10,28
Октябрь	7,15	20,99	2,04	11,45

в растворимых микроэлементах, поэтому Я. В. Пейве предложил измерять их концентрацию в миллиграммах на килограмм почвы (табл. 29). Нам представляется более правильной такая абсолютная оценка, ибо относительные содержания, выраженные в процентах, строго говоря, несопоставимы, так как зависят от валового количества микроэлементов.

На основании обработки разрозненного материала по подвижным формам микроэлементов, приведенного В. В. Ковалевским, нами составлена табл. 30, отражающая присутствие подвижных форм в почвах областей черноземной и нечерноземной зон. В черноземной зоне высокими содержаниями подвижных форм меди выделяются почвы Краснодарского края

ТАБЛИЦА 29

**Обеспеченность почв Прибалтики подвижными формами микроэлементов**

Степень обеспеченности	Микроэлементы, мг/кг					
	Mn	Zn	Cu	Co	Mo	B
Недостаточная	<10	<1	<1,5	<1	<0,15	<0,2
Средняя	10—50	1—3	1,5—3	1—3	0,15—0,3	0,2—0,5
Высокая	>50	>3	>3	>3	>0,3	>0,5

(6 мг/кг) и Ростовской области (5,8), а в нечерноземной зоне — почвы Московской области (5,0). Повышенным содержанием подвижных форм кобальта в черноземной зоне отличается Херсонская область (2,8 мг/кг). Все изученные области нечерноземной зоны (за исключением Московской) бедны кобальтом. Валовое содержание молибдена в почвах обеих зон колеблется в пределах 1,3—7,8 мг/кг, а подвижных форм — в диапазоне 0,1—0,3 мг/кг. При высоких общих содержаниях цинка в обеих зонах (22—91 мг/кг) максимальные концентрации подвижных форм приходятся в основном на почвы нечерноземной зоны, в частности Ленинградской (1,2 мг/кг), Московской (0,8)

ТАБЛИЦА 30

**Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах некоторых областей черноземной и нечерноземной зон Европейской части ССР**

Зона, область, край	Cu			Co		
	Валовое, мг/кг	Подвижные формы		Валовое, мг/кг	Подвижные формы	
		мг/кг	%		мг/кг	%
Черноземная зона	31,0	4,8	15,6	13,1	2,2	16,8
Курская	21,4	3,4	16,4	9,4	2,1	22,3
Ростовская	28,0	5,8	20,7	10,1	1,2	11,8
Краснодарский	26,0	6,0	23,4	10,9	1,8	16,5
Донецкая	49,2	2,2	4,7	24,3	2,6	10,6
Днепропетровская	31,3	4,7	15,0	12,1	2,1	17,3
Херсонская	25,8	3,5	13,6	5,9	2,8	47,4
Крымская	33,2	4,5	13,5	19,2	2,6	13,5
Нечерноземная зона	29,0	2,5	12,0	4,5	1,1	23,7
Московская	31,0	5,0	16,0	8,8	2,4	27,2
Ярославская	11,4	1,4	12,3	3,9	0,5	12,5
Костромская	12,1	2,8	23,1	3,9	1,1	27,5
Ленинградская	11,1	1,8	16,2	3,2	0,5	15,6
Карельская АССР	78,7	1,6	2,1	2,8	0,9	32,1
Среднее по двум зонам	30,0	3,6	14,6	9,4	1,7	18,3

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Зона, область, край	Mo			Zn		
	Валовое, мг/кг	Подвижные формы		Валовое, мг/кг	Подвижные формы	
		мг/кг	%		мг/кг	%
Черноземная зона	4,1	0,2	5,6	62	0,2	0,3
Курская	4,8	0,3	6,4	63	0,5	0,8
Ростовская	3,4	0,3	9,1	49	0,1	0,2
Краснодарский	3,2	0,2	5,6	91	0,3	0,3
Донецкая	5,3	0,2	3,6	66	0,1	0,2
Днепропетровская	7,8	0,2	3,0	48	0,2	0,4
Херсонская	2,7	0,3	9,6	77	0,1	0,1
Крымская	1,4	0,2	12,1	67	0,1	0,1
Нечерноземная зона	2,3	0,2	8,6	45	0,9	2,0
Московская	2,4	0,2	7,5	62	0,8	1,3
Ярославская	1,5	0,2	14,0	27	0,8	2,9
Костромская	1,3	0,1	7,1	22	0,6	2,7
Ленинградская	2,3	0,2	7,0	64	1,2	1,9
Карельская АССР	3,3	0,3	7,6	52	1,2	1,9
Среднее по двум зонам	3,2	0,2	6,0	57	0,5	1,0

областей и Карельской АССР (1,2). Если сравнить данные табл. 30 и 29, можно определить степень обеспеченности почв рассмотренными элементами.

На основании математического расчета нами составлена табл. 31 по обеспеченности подвижными формами микроэлемент-

ТАБЛИЦА 31  
Обеспеченность почв черноземной и нечерноземной зон  
подвижными формами микроэлементов

Микро-элементы	Зоны	Степень обеспеченности, мг/кг		
		Недостаточ-ная	Средняя	Высокая
Cu	Черноземная	<2,8	2,9—5,3	≥5,4
	Нечерноземная	<1,7	1,8—3,8	≥3,9
	Прибалтика	<1,5	1,5—3,0	≥3,0
Co	Черноземная	<1,4	1,5—2,5	≥2,6
	Нечерноземная	<0,7	0,8—1,8	≥1,9
	Прибалтика	<1,0	1,0—3,0	≥3,0
Mo	Черноземная	<0,19	0,2—0,27	≥0,28
	Нечерноземная	<0,11	0,12—0,21	≥0,22
	Прибалтика	<0,15	0,15—0,35	≥0,3
Zn	Черноземная	<0,1	0,11—0,35	≥0,36
	Нечерноземная	<0,7	0,8—1,1	≥1,2
	Прибалтика	<1,2	1,0—3,0	≥3,0

тов почв черноземной и нечерноземной зон. Следует отметить, что наши результаты по нечерноземной зоне близки к данным Я. В. Пейве [61] для почв Прибалтики, также входящей в нечерноземную зону. По меди, кобальту и молибдену почвы черноземной зоны имеют более высокие показатели, и только по цинку преимущество у нечерноземной зоны, а у почв Прибалтики — еще и по кобальту.

## ГЛАВА 5

### ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ЕГО МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

Для геохимического районирования почвенного покрова основным фактором выбран микроэлементный состав почв, являющийся важным показателем нормальной или аномальной жизнедеятельности организмов в биогенной пищевой цепи порода — почва — живые организмы. Впервые биогеохимическое районирование было предложено А. П. Виноградовым [11], а затем В. В. Ковалевским [30, 33]. Но крупные биогеохимические провинции, выделенные В. В. Ковалевским, имели очень широкий диапазон биогеохимических обстановок, поэтому некоторыми исследователями, в частности В. Б. Ильиным [24, 25], О. В. Макеевым [49], Ф. Я. Сапрекиным и др. [29], предложено делить биогеохимические провинции на более мелкие таксономические единицы — биогеохимические округа и районы. Эти единицы должны обладать однородностью морфологических, литолого-химических и геохимических особенностей, определяющих оптимум, недостаток либо избыток тех или иных микроэлементов, важных для жизнедеятельности организмов. М. М. Приходько [70] при биогеохимическом районировании Закарпатского предгорья применил еще более низкого порядка таксоны — подрайон и микрорайон.

Применение различных таксономических единиц при составлении почвенно-геохимических карт как первого звена биогеохимического районирования зависит в основном от масштаба карт. При картировании, например, почвенного покрова республики, края или крупного региона в среднем масштабе (1:1 000 000, 1:600 000) следует ограничиваться показом на карте почвенно-геохимических областей, округов. При картировании отдельных областей в масштабе 1:500 000 показывают районы, а при крупномасштабном картировании (1:10 000) земель совхозов — участки.

Пока не существует единого метода почвенно-геохимического районирования. Большинство исследователей в основу берут ландшафтно-геохимическую обстановку, климат, состав исходных пород и развитие почвообразовательного процесса. Так, К. И. Лукашев и др. [47, 48] провели геохимическое райо-

нирование территории Белоруссии по пространственному распределению химических элементов в покровных отложениях, почвах и водах. Ими выделяются литогеохимические и педогеохимические типы провинций. Молодой возраст почвенного покрова обуславливает сходство минералогического и химического состава почвообразующих пород и почв, поэтому в пределах республики эти провинции качественно примерно однотипны и объединены в литогеохимические провинции.

Прослеживаются три литогеохимические провинции, связанные с покровными отложениями: Северная, Центральная и Южная; они отражают геологическое строение территории. Судя по геохимическим типам ландшафтов, на территории республики получили распространение болотный, дерновый и дерново-подзолистый (70 %) процессы почвообразования. Среднее содержание микроэлементов в почвообразующих породах и почвах Белоруссии показано в табл. 32, 33.

ТАБЛИЦА 32

Среднее содержание микроэлементов (мг/кг) в почвообразующих породах Белоруссии [48]

Породы	Ti	Mn	Cr	Ni	V	Cu	Zr	Сумма
Моренные	1130	160	33	12	33	6	150	1524
Лёссовые	2400	230	30	5	нет	22	29	2716
Аллювиальные	637	115	54	21	34	24	120	1005
Флювиогляциальные	1200	100	30	нет	70	нет	нет	1400
Эоловые	1200	130	11	»	нет	6	250	1597

ТАБЛИЦА 33

Содержание микроэлементов (мг/кг) в почвах Белоруссии [48]

Почвы	Ti	Mn	Ba	V	Cr	Ni	Cu	Zr	Сумма
Дерново-подзолистая песчаная	900	230	180	15	18	7,5	5,4	90	1445,9
Супесчаная	1100	250	260	30	25	14	6,8	170	1855,8
Суглинистая	1400	300	240	34	50	15	12,4	130	2181,4
На лёссах (палевая)	1950	370	960	57	84	17	10,7	2	3450,7
Аллювиально-луговая	1100	240	240	18	28	10	6,0	160	1802,0
Торфяно-болотная	110	35	84	5	8	5	5,0	32	284,0

Н. А. Протасов [71] при районировании Окско-Донской равнины установил некоторые закономерности географического распределения микроэлементов в почвах, что позволило ему выделить четыре почвенно-геохимических района: Северо-Восточный Цининский, Северный, Южный и Юго-Восточный Хопёрский.

Окско-Донская равнина находится в лесостепной черноземной зоне и представляет собой одну из наиболее четко обособленных провинций этой зоны. С трех сторон она окружена возвышеностями — Среднерусской, Калачской, Приволжской. В пределах Окско-Донской равнины находятся Тамбовская, частично Воронежская и Липецкая области. Равнина имеет низменную плоскую поверхность с незначительным вертикальным и горизонтальным расчленением. Четвертичные породы представлены водно-ледниками и древнеаллювиальными песками, приуроченными к долинам рек, и покровными лёссовидными суглинками и глинями на водоразделах. Наиболее распространены тяжелые суглинки и глины, в меньшей степени — средние и легкие суглинки. Климат здесь имеет недостаточное увлажнение (среднее годовое количество осадков 400—500 мм) и повышенные летние температуры. На Окско-Донской равнине преобладают почвы черноземного типа, в меньшей мере распространены серые лесные и лугово-черноземные.

**Северо-Восточный Цнинский район.** Сложен мощной толщей долинно-зандровых и аллювиальных песков, почти сплошь покрытых сосново-широколиственными лесами. Расположен в северо-восточной части Мичуринско-Моршанского почвенно-климатического района щелочных черноземов. Широко распространены светло-серые и серые лесные почвы легкого механического состава. Малогумусовые почвы (0,6—3,0 %) имеют кислую реакцию и низкую емкость поглощения. Кроме этих почв в северной лесостепи распространены черноземы выщелоченные, мало- и среднегумусовые, и лугово-черноземные почвы суглинистого и тяжелосуглинистого механического состава. Они богаты гумусом (5—8,5 %) и имеют слабокислую реакцию.

**Северный район.** Занимает большую часть Мичуринско-Моршанского почвенно-климатического района выщелоченных черноземов и полностью Липецкий район типичных и выщелоченных черноземов. Территория района, представляющая Окско-Донской водораздел, приподнята над прилегающими к нему пространствами. Рельеф равнинно-увалистый, преобладает плакорный тип местности. В почвенном покрове господствуют черноземы выщелоченные, мало- и среднегумусовые, тяжелого механического состава на покровных лёссовидных суглинках и глинах. Распространены также черноземы типичные и лугово-черноземные почвы. Для почв района характерны большое содержание гумуса (4,4—8,3 %), слабая и близкая к нейтральной реакция, высокая насыщенность основаниями.

**Южный район.** Занимает центральную и северную части Южного Битюго-Хоперского ландшафтного района типичной лесостепи. Территориально полностью совпадает с Воронежско-Сампурским почвенно-климатическим районом типичных мощных и среднемощных черноземов. Характеризуется спокойной слабо расчлененной плоской поверхностью с множеством западин. Преобладает плакорный тип местности. Водораздель-

ные дренированные равнины заняты типичными и реже выщелоченными черноземами. На обширных недренированных междуречьях господствуют лугово-черноземные почвы с луговыми солонцами и солодями по западинам. Черноземы этого района наиболее плодородны. Они имеют значительное содержание гумуса (6,5—11,6 %), нейтральную реакцию, большую насыщенность основаниями, высокую емкость поглощения и тяжелый механический состав. Покровные лёссовидные карбонатные глины и тяжелые суглинки, на которых сформировались почвы, обогащены бором и иодом.

**Юго-Восточный Хопёрский район.** Расположен на крайнем юго-востоке Окского-Донской равнины, в пределах Среднекхопёрского придолинного южнолесостепного ландшафтного района и южной части Южного Битюго-Хопёрского типичного лесостепного района. Приурочен к северо-восточной части Бутурлиновского района обыкновенных черноземов. Для района характерны плакорный, надпойменно-террасовый и пойменный типы местности. Широко распространены черноземы обыкновенные и типичные среднегумусовые тяжелого механического состава. Почвы хорошо обеспечены гумусом (6—9 %), имеют нейтральную реакцию и довольно высокую емкость поглощения. Почвообразующие породы представлены покровными лёссовидными легкими, средними и тяжелыми суглинками и глинами.

Содержание микроэлементов в исходных породах и почвах Окского-Донской равнины дано в табл. 34, 35.

Ф. Я. Сапрыкин, А. Ф. Кулачкова, М. М. Лаврентьева, О. В. Мамонтова (ВСЕГЕИ), Э. И. Гагарина, Н. Н. Матинян, Л. С. Счастная (ЛГУ) в 1981 г. провели геохимическое районирование почвенного покрова трех областей (Ленинградской, Псковской и Новгородской) Северо-Запада РСФСР и соста-

ТАБЛИЦА 34  
Содержание микроэлементов в почвообразующих породах  
Окского-Донской равнины

Элементы	Кларк литосфера	Покровные лёссовидные легкие и средние суглинки		Покровные лёссовидные тяжелые суглинки и глины	
		мг/кг	кларк	мг/кг	кларк
Cr	83	34	0,40	81	0,98
V	90	48	0,53	80	0,89
Ni	58	22	0,38	32	0,55
Ti	4500	3350	0,74	3923	1,17
Mn	1000	353	0,35	418	0,42
Be	3,8	1	0,26	1,2	0,32
Ba	650	400	0,62	509	0,78
Zr	170	306	1,80	336	1,98
Sr	340	64	0,19	118	0,35
Mo	1,1	не опр.	—	1,6	1,45
B	12	30	0,40	45	3,75
I	0,3	не опр.	—	2,9	9,66

ТАБЛИЦА 35

Содержание микроэлементов и их кларковые концентрации в почвах Окско-Донской равнины  
(по данным Н. А. Протасова [1982 г.])

Элементы	Районный кларк	Серые лесные		Черноземы							
				Выщелоченные		Типичные и лугово-черноземные				Обыкновенные	
		мг/кг	кларк	мг/кг	кларк	мг/кг	кларк	мг/кг	кларк	мг/кг	кларк
Cr	200	40	0,20	76	0,38	73	0,37	99	0,49	106	0,53
V	100	44	0,44	74	0,74	89	0,89	87	0,87	108	1,08
Ni	40	20	0,50	34	0,85	35	0,88	41	1,02	43	1,08
Ti	4600	2700	0,58	4300	0,93	4200	0,91	4655	1,01	4700	1,02
Mn	850	508	0,59	665	0,77	655	0,76	820	0,96	700	0,82
Be	6	1	0,16	1,4	0,23	1,3	0,22	1,2	0,2	1,3	0,22
Ba	500	420	0,84	582	1,16	546	1,09	570	1,14	465	0,93
Zr	300	444	1,48	406	1,35	347	1,15	281	0,93	280	0,93
Sr	300	61	0,20	80	0,27	не опр.		135	0,45	96	0,32
Mo	2,6	не опр.	—	1,7	0,65	»		2,1	0,80	2,2	0,84
B	10	»	—	46	4,6	49	4,9	57	5,70	49	4,9
I	5	»	—	3,9	0,78	6,2	1,24	6,5	1,30	4,9	0,98

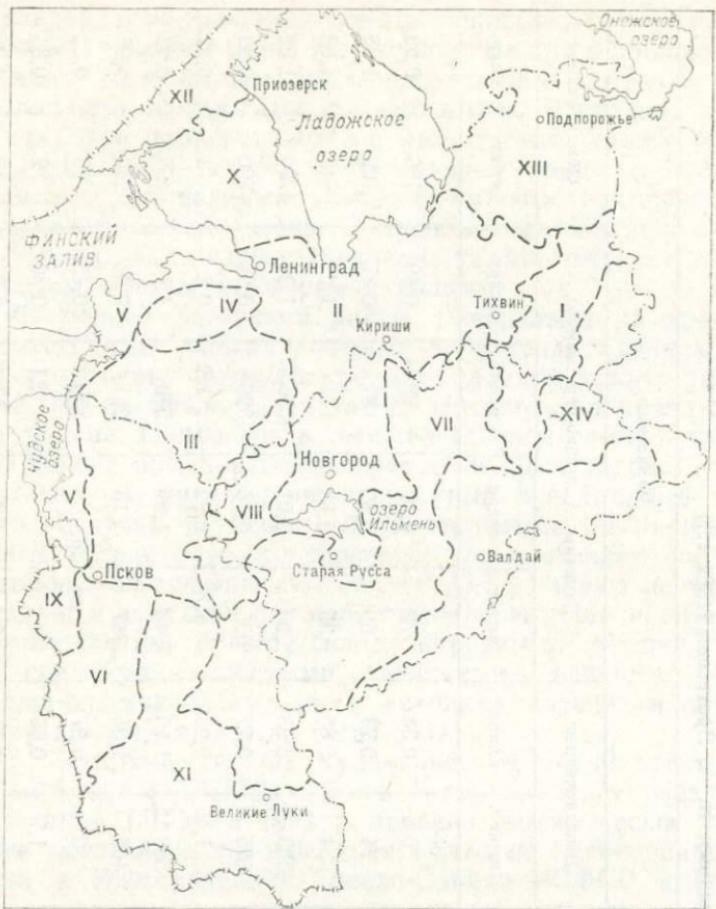


Рис. 1. Схема почвенного районирования Северо-Запада РСФСР.

Округа: I — Валдайский, II — Ловатско-Волховский, III — Псковский, IV — Ижорский, V — Чудский, VI — Великорецкий, VII — Предвалдайский, VIII — Лужско-Шелонский, IX — Западно-Двинский, X — Балтийско-Ладожский, XI — Великолукский, XII — Выборгско-Приозерский, XIII — Ладожско-Принежский, XIV — Молого-Шекснинский.

вили почвенно-геохимическую карту масштаба 1:1 000 000. По ландшафтно-почвенным геохимическим условиям территория подразделяется на четыре типа почвенных округов с относительно однотипной структурой почвенного покрова и однородным характером литолого-геоморфологических факторов (рис. 1).

1. **Водно-ледниково-озерно-равнинные.** Сюда входят следующие округа: Ловатско-Волховский, Великорецкий, Чудский, Молого-Шекснинский и Балтийско-Ладожский. Они характеризуются резким преобладанием равнинных форм рельефа. На участках, сложенных озерно-ледниковыми глинами (Великорецкий округ и западная часть Ловатско-Волховского), преобладают дерново-подзолисто-глеевые почвы поверхности

увлажнения. На озерно-ледниковых и зандровых песчаных равнинах (восточная часть Ловатско-Волховского округа, Чудский, Балтийско-Ладожский округа) господствуют торфянисто-подзолисто-глеевые, слабодерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы. Обширные пространства занимают болотные торфяные и торфяно-глеевые почвы.

**2. Конечно-моренные.** Эти возвышенные (Валдайский и Ладожско-Прионежский) и пониженные (Великолукский) округа выделяются сложностью рельефа и разнообразием почвообразующих пород. Наибольшие площади заняты холмисто-моренным рельефом с абсолютными высотами выше 240 м (Валдайский, Ладожско-Прионежский). Великолукский округ характеризуется преимущественным развитием пологоволнистого моренного рельефа в пределах абсолютных высот 140—200 м с отдельными возвышенностями более 240 м. Почвенный покров образован сочетанием дерново-подзолистых, дерново-подзолистых остаточно-карбонатных и дерново-подзолисто-глеевых почв различного механического состава с преобладанием суглинистых на моренных отложениях.

**3. Моренno-равнинные.** Эти пониженные округа (Псковский, Ижорский, Предвалдайский, Лужско-Шелонский, Западно-Двинский) расположены в пределах слабодренируемых моренных абрэдированных равнин. Среди почвообразующих пород преобладают супесчаная и суглинистая морены. Широко распространены двучленные отложения — валунные супеси, подстилаемые валунными суглинками. Почвенный покров отличается значительной заболоченностью. Господствуют сочетания и комплексы дерново-подзолистых почв разного механического состава с торфянисто-подзолистыми и болотными почвами. Распространены обширные болота верхового типа, приуроченные к водоразделам рек. С своеобразен почвенный покров округов с близким залеганием карбонатных пород (Лужско-Шелонский, Ижорский). Почвенный покров здесь состоит из сложных сочетаний и мозаик дерново-подзолистых остаточно-карбонатных и дерново-карбонатных почв различной степени выщелоченности. Гидроморфные почвы в связи с хорошей дренированностью территории имеют ограниченное распространение.

**4. Гляциально-эрзационно-цокольные пониженные.** К этому типу относится Выборгско-Приозерский округ на южной границе Балтийского щита. Кристаллические породы выходят здесь на земную поверхность и участвуют в формировании почвенного покрова. Преобладает сельсовый рельеф. Почвенный покров мозаичен. На сельгах, покрытых супесчаной каменистой мореной, фрагментарно встречаются грубогумусовые буровозмы и иллювиально-железисто-гумусовые подзолы. Межсельговые депрессии заняты дерново-подзолисто-глеевыми почвами на озерно-ледниковых и озерных глинах.

Состав и концентрации микроэлементов в почвах рассмотренных округов складываются под воздействием ряда факторов,

среди которых определяющим является литологический. Почвообразующая порода служит основным источником микроэлементов в почвах, и распределение микроэлементов в гумусовом горизонте 0—20 см ( $A_1$  или  $A_{\text{пах}}$ ) в значительно большей степени контролируется характером пород, чем чисто почвенными факторами [21]. Кроме того, уровень содержания микроэлементов в почвах находится, как известно, в прямой зависимости от их механического состава, обычно унаследованного от почвообразующей породы.

### ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДА РСФСР

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах и коэффициент их концентрации  $K$  по отношению к региональному фону (табл. 36) показывают, что озерно-ледниковые пески обогащены стронцием и оловом, но по сумме содержания микроэлементов являются самыми бедными ( $K_{\text{ср}}=0,62$ ). Во флювиогляциальных песках повышенны содержания меди, цинка и олова; в двучленных породах — молибдена, бора, марганца, ванадия и циркония. Звонцовые глины обогащены цинком, бором, ванадием, цирконием, стронцием, кобальтом и другими микроэлементами и по их содержанию занимают первое место среди почвообразующих пород ( $K_{\text{ср}}=1,28$ ). Ленточные глины в основном богаты ванадием, иттрием и бором и по сумме микроэлементов соответствуют региональному фоновому содержанию ( $K_{\text{ср}}=1,00$ ). В карбонатной морене среднее содержание микроэле-

ТАБЛ

Содержание  $C$  микроэлементов в почвообразующих породах  
по отношению к их среднему содержанию

Почвообразующие породы	Число проб	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni	Co
Пески							
Озерно-ледниковые	50	$C$ , мг/кг $K$	— 0,08	7 0,59	55 0,30	7 0,60	6
Флювиогляциаль- ные	32	$C$ , мг/кг $K$	1,0 0,71	177 2,03	175 1,88	17 0,74	10 1,00
Двучленные	25	$C$ , мг/кг $K$	1,7 1,21	93 1,07	72 0,77	26 1,13	10 1,00
Глины							
Звонцовые	13	$C$ , мг/кг $K$	1,2 0,86	97 1,11	109 1,17	25 1,09	16 1,60
Ленточные	34	$C$ , мг/кг $K$	1,1 0,89	87 1,00	86 0,92	21 0,91	10 1,00
Морена							
Карбонатная	87	$C$ , мг/кг $K$	1,3 0,93	78 0,90	68 0,73	24 1,04	8 0,80
Бескарбонатная	22	$C$ , мг/кг $K$	2,0 1,43	82 0,94	80 0,86	43 1,87	11 1,10
Региональный фон, мг/кг	271		1,4	87	93	23	10

ментов немного ниже регионального фона ( $K_{cp}=0,92$ ), в то время как бескарбонатная морена имеет повышенные концентрации молибдена, никеля, кобальта, бора, марганца, бария и по сумме микроэлементов занимает второе место ( $K_{cp}=1,14$ ).

Поскольку одинаковые почвообразующие породы распространены на обширной территории с различными ландшафтно-геохимическими обстановками, то весьма интересно знать, как распределяются по территории концентрации отдельных микроэлементов относительно их регионального фонового содержания для определенной почвообразующей породы каждой области.

**Озерно-ледниковые пески.** Эти почвообразующие породы встречаются во всех четырех ландшафтно-геохимических областях (табл. 37). Максимальные коэффициенты концентрации микроэлементов устанавливаются в Великорецком ( $K_{cp}=1,30$ ) и Псковском ( $K_{cp}=1,32$ ) округах. В Великорецком округе повышенные коэффициенты концентрации имеют барий, кобальт, медь, никель и др., в Псковском — кобальт, молибден, цинк. В озерно-ледниковых песках Балтийско-Ладожского округа отмечаются ураганные концентрации меди (1800 мг/кг) и цинка (225 мг/кг). Эти же микроэлементы в ураганных концентрациях установлены и в Великолукском округе (соответственно 572 и 1208 мг/кг); в Псковском округе содержание меди составляет 175 мг/кг. Все эти завышенные концентрации не принимались в расчет при определении регионального фона. Минимальным содержанием микроэлементов характеризуется Ладожско-Принежский округ ( $K_{cp}=0,68$ ).

#### И Ц А 36

#### Северо-Запада РСФСР и коэффициент концентрации $K$ в регионе (региональный фон)

V	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Zr	Sn	Y	Nb	$K_{cp}$
15 0,29	не опр. »	225 2,08	10 0,67	не опр. »	21 0,42	95 0,52	10 2,00	10 0,47	1 0,096	0,62
не опр.	347	87	15	236	23	189	8	21	13	
»	0,68	0,8	1,00	1,00	0,46	1,00	1,60	1,00	0,72	1,06
62	574	103	15	249	58	229	5	10	19	
1,21	1,14	0,95	1,00	1,07	1,16	1,26	1,00	0,47	1,05	1,03
86 1,69	418 0,83	153 1,41	17 1,13	276 1,18	83 1,66	273 1,51	4 0,80	24 1,14	— —	1,28
52 1,02	493 0,98	55 0,51	13 0,87	131 0,56	89 1,78	131 0,72	3 0,60	24 1,14	40 2,22	1,00
46 0,90	485 0,97	94 0,87	15 1,00	259 1,11	46 0,92	202 1,12	4 0,80	не опр. »	13 0,72	0,92
74 1,45	689 1,37	84 0,78	15 1,00	250 1,07	54 1,08	195 1,08	5 1,00	»	16 0,89	1,14
51	500	108	15	233	50	181	5	21	18	1,00

ТАБЛ

## Среднее содержание С микроэлементов в озерно-леднико-

Геохимический округ	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni	Co
Гляциально-эрзационно-						
Выборгско-Приозерский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	— —	8 0,29	100 2,17	12 0,80	10 0,64
Водно-ледниково-озерно-						
Ловатско-Волховский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	2 1,43	44 1,63	48 1,04	25 1,67	7 0,50
Чудский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	1,1 0,79	44 1,63	50 1,08	8 0,53	3 0,21
Великорецкий	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	1,3 0,93	53 1,96	48 1,04	24 1,60	38 2,71
Балтийско-Ладожский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	— —	1800*	225*	10 0,67	8 0,57
МологоШекснинский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	— —	2 0,07	не опр. » »	10 0,67	10 1,71
Конечно-море						
Валдайский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	3 2,14	29 1,07	27 0,59	22 1,47	7 0,50
Ладожско-Прионежский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	— —	7 0,26	10 0,22	2 0,13	1 0,07
Великолукский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,9 0,64	572*	1208*	17 1,13	8 0,57
Моренно-равнинная						
Псковский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	2 1,43	175*	91 1,98	24 1,60	65 4,64
Предвалдайский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,5 0,36	33 1,22	15 0,33	11 0,73	7 0,50
Западно-Двинский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,3 0,24	19 0,70	29 0,63	14 0,93	4 0,29
Региональный фон, мг/кг		1,4	27	46	15	14

\* Ураганные содержания микроэлементов при вычислении среднего не учитывались.

**Флювиогляциальные пески.** Эти породы распространены не во всех геохимических округах (табл. 38). В отличие от озерно-ледниковых песков во флювиогляциальных отсутствуют ураганные концентрации микроэлементов. Высокой концентрацией микроэлементов выделяются Предвалдайский ( $K_{ср}=1,24$ ) и Великолукский ( $K_{ср}=1,17$ ) округа. В Предвалдайском высокие коэффициенты концентрации имеют ванадий, молибден, марганец, галлий, бор, ниобий, медь, цинк, никель и кобальт, в Великолукском — молибден, цинк, барий, никель, кобальт, стронций, марганец. Беден микроэлементами Великорецкий округ ( $K_{ср}=0,83$ ).

вых песках и коэффициент концентрации  $K$ 

B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Nb	Ga	$K_{cp}$
<b>школьная пониженная область</b>								
10 0,29	700 1,87	200 1,67	10 0,71	не опр. »   »	25 1,08	не опр. »   »	10 0,83	1,04
<b>равнинная пониженная область</b>								
26 0,74 не опр. »   » »   » »   » 24 0,69 30 0,86	401 1,07 272 0,73 252 0,53 250 0,67 325 0,87 350 0,93	63 0,53 не опр. »   » 63 1,21 24 2,08 100 0,83	13 0,93 15 1,07 17 1,21 24 1,71 3 0,21	200 0,59 не опр. »   » 500 1,48 не опр. »   » »   » »   »	32 1,39 13 0,57 30 1,80 25 1,08 10 0,43	13 1,08 6 0,50 9 0,75 5 0,42 10 0,83	8 0,67 28 2,33 18 1,50 13 1,08 10 0,83	1,02 0,94 1,30 1,02 0,74
<b>иная область</b>								
9 0,26 20 0,57 69 1,97	520 1,39 250 0,67 553 1,47	74 0,62 250 3,08 95 0,79	17 1,21 10 0,71 23 1,64	444 1,35 не опр. »   » 395 1,17	33 1,43 17 0,74 26 1,13	14 1,17 2 0,17 17 1,42	8 0,67 10 0,83 12 1,09	1,14 0,68 1,18
<b>пониженная область</b>								
40 1,14 21 0,60 103 2,94	302 0,81 380 1,01 193 0,51	56 0,47 72 0,60 100 0,83	13 0,93 14 1,00 8 0,57	158 0,48 437 1,32 226 0,67	13 0,57 31 1,35 19 0,83	13 1,08 17 1,42 23 1,92	8 0,67 7 0,58 10 0,83	1,32 0,92 0,91
	35	375	120	14	337	23	12	12

**Двучленные породы.** На примерно одинаковом фоне средних концентраций микроэлементов (табл. 39) выделяются два геохимических округа, где общая концентрация превышает единицу. В Великолукском округе ( $K_{cp}=1,13$ ) особо высоки концентрации меди, цинка и бария, в Предвалдайском ( $K_{cp}=1,12$ ) — молибдена и никеля.

**Звонцовые и ленточные глины.** Максимальные концентрации микроэлементов (табл. 40) в звонцовых глинах установлены в Великолукском округе ( $K_{cp}=1,23$ ) для меди, галлия, цинка, ниobia, свинца, никеля и ванадия. Среди ленточных выделяются глины Чудского геохимического округа ( $K_{cp}=1,41$ ), где особенно

ТАБ

## Среднее содержание С микроэлементов в флювиогляциальных

Геохимический округ	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni
Водно-ледниково-озерно					
Великорецкий	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,9 0,47	51 1,09	29 0,63	22 1,10
Конечно-мо					
Валдайский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	1,1 0,58	52 1,11	42 0,91	14 0,70
Великолукский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	4 2,11	46 0,98	73 1,69	28 1,40
Моренно-равнинная					
Псковский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,8 0,42	26 0,55	25 0,54	12 0,60
Предвалдайский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	3 1,58	62 1,32	60 1,30	23 1,15
Региональный фон, мг/кг		1,9	47	46	20

ТАБ

## Среднее содержание С микроэлементов

Геохимический округ	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni
Водно-ледниково-озерно					
Ловатско-Волховский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	1,1 0,65	47 0,51	69 0,96	20 0,73
Конечно-мо					
Валдайский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,7 0,41	36 0,39	66 0,92	21 0,81
Великолукский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	0,8 0,47	275 2,95	133 1,85	22 0,85
Моренно-равнинная					
Псковский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	2,4 1,41	80 0,86	36 0,50	31 1,19
Предвалдайский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	3,8 2,23	69 0,74	73 1,01	45 1,73
Лужско-Шелонский	$C, \text{ мг/кг}$ $K$	1,7 1,00	50 0,54	53 0,74	19 0,73
Региональный фон, мг/кг		1,7	93	72	26

## ЛИЦА 38

песках и коэффициент концентрации  $K$ 

Co	B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Nb	Ga	$K_{cp}$
равнинная пониженная область									
7 1,00	27 0,69	300 0,57	53 0,89	15 0,63	266 1,27	15 0,56	18 1,20	8 0,66	0,83
речная область									
6 0,85	68 1,74	546 1,03	41 0,69	9 0,38	161 0,77	25 0,93	9 0,60	10 0,83	0,86
10 1,43	9 0,23	528 1,00	81 1,37	11 0,46	325 1,56	29 1,17	13 0,87	13 1,08	1,17
пониженная область									
3 0,43	37 0,95	432 0,82	71 1,20	75 3,12	153 0,73	15 0,56	13 0,87	9 0,75	0,89
8 1,14	55 1,41	842 1,60	50 0,85	9 0,38	142 0,68	49 1,81	20 1,33	19 1,58	1,24
7	39	530	59	24	209	27	15	12	

## ЛИЦА 39

в двучленных породах и коэффициент концентрации  $K$ 

Co	B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Nb	Ga	$K_{cp}$
равнинная пониженная область									
14 1,40	13 0,21	855 1,49	60 0,58	11 0,92	250 1,00	60 1,05	18 0,95	29 2,07	0,97
речная область									
11 1,10	39 0,63	427 0,74	196 1,90	14 1,17	310 1,24	61 1,07	19 1,00	14 1,00	0,95
8 0,80	64 1,03	411 0,72	76 0,74	12 1,00	373 1,49	48 0,84	20 1,05	12 0,86	1,13
пониженная область									
8 0,80	67 1,08	458 0,79	129 1,25	13 1,08	136 0,54	81 1,42	14 0,74	11 0,79	0,96
10 1,00	101 1,63	718 1,25	46 0,45	11 0,92	170 0,68	55 0,96	24 1,26	10 0,71	1,12
9 0,90	90 1,45	575 1,00	110 1,07	9 0,75	258 1,03	39 0,68	19 1,00	8 0,57	0,88
10	62	574	103	12	250	57	19	14	

высокие концентрации отмечаются для ниобия (глины вообще отличаются повышенным содержанием этого элемента в сравнении с другими почвообразующими породами), далее следуют галлий, медь и молибден.

**Карбонатная морена.** Содержание микроэлементов в карбонатной морене (табл. 41) ниже, чем в бескарбонатной. Причи-

ТАБ  
Среднее содержание С микроэлементов в звонцовых

Геохимический округ	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni
Звонцовые					
Конечно-мо					
Валдайский	<i>C</i> , мг/кг <i>K</i>	1,3 1,08	34 0,35	65 0,61	15 0,60
Великолукский	<i>C</i> , мг/кг <i>K</i>	1,0 0,92	160 1,65	149 1,39	35 1,40
Региональный фон, мг/кг		1,2	97	107	25
Ленточ					
Водно-ледниково-озерно-рав					
Ловатско-Волховский	<i>C</i> , мг/кг <i>K</i>	0,9 0,87	21 0,53	90 1,02	22 1,10
Чудский	<i>C</i> , мг/кг <i>K</i>	1,5 1,46	80 2,00	70 0,80	20 1,00
Великорецкий	<i>C</i> , мг/кг <i>K</i>	0,9 0,87	23 0,58	83 0,94	17 0,85
Моренно-равнинная					
Предвалдайский	<i>C</i> , мг/кг <i>K</i>	0,8 0,78	35 0,88	107 1,22	22 1,10
Региональный фон, мг/кг		1,03	40	88	20

ной этого, вероятнее всего, является карбонатный цемент, предохраняющий морену от окисления и гасящий миграционную способность микроэлементов. Максимальные концентрации микроэлементов установлены в Предвалдайском геохимическом округе ( $K_{cp}=1,38$ ); они характерны для никеля, молибдена, марганца, меди, ниобия, цинка, бора, кобальта и ванадия, т. е. для всех биологически активных микроэлементов. Вторым геохимическим округом по высокому значению коэффициента концентрации ми-

кроэлементов является Великолукский ( $K_{cp}=1,22$ ); карбонатная морена здесь богата медью, цинком, ниобием. На третьем месте стоит Лужско-Шелонский округ ( $K_{cp}=1,19$ ); здесь повышенны содержания молибдена, меди, марганца, бора и никеля, а также стронция, но его концентрация не выходит за пределы допустимых норм для почв.

#### ЛИЦА 40

#### и ленточных глинах и коэффициент концентрации $K$

Co	B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Nb	Ga	$K_{cp}$
----	---	----	----	----	----	---	----	----	----------

#### глины

##### ренная область

19 1,26	не опр. »	380 0,90	не опр. »	12 0,71	не опр. »	77 0,93	13 0,68	5 0,56	0,77
12 12	86 1,00	457 1,09	153 1,00	22 1,29	276 1,00	89 1,07	25 1,32	12 1,44	1,23
0,74									

15

86

418

153

17

276

83

19

9

#### ные глины

##### нижняя пониженная область

10 1,11	61 1,61	374 0,80	89 1,51	11 1,00	102 1,21	126 1,31	17 0,38	7 0,58	1,00
7 не опр.	450 »	не опр. 0,97	10 »	не опр. 0,91	50 »	50 0,52	121 2,69	35 2,92	1,41
0,78 »	» »	471 1,01	74 1,25	12 1,09	83 0,99	77 0,80	21 0,47	3 0,25	0,84
9 1,00	» »								

##### пониженная область

12 1,33	15 0,39	570 1,22	13 0,22	12 1,09	68 0,81	130 1,35	20 0,44	2 0,17	0,85
9	38	466	59	11	84	96	45	12	

**Бескарбонатная морена.** Эти породы распространены в пяти геохимических округах, входящих в состав двух геохимических областей (табл. 42). Наиболее богат микроэлементами Предвалдайский округ ( $K_{cp}=1,15$ ), где десять микроэлементов из тридцати имеют вышефоновые или фоновые концентрации, при этом особенно отличаются медь, марганец, цинк, кобальт и ниобий.

ТАБ

## Среднее содержание С микроэлементов

Геохимический округ	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni
Водно-ледниково-озерно-					
Ловатско-Волховский	<i>C</i> , мг/кг	1,0	60	50	20
	<i>K</i>	0,79	0,68	0,74	0,83
Чудский	<i>C</i> , мг/кг	1,0	60	40	2
	<i>K</i>	0,79	0,68	0,59	0,08
Великорецкий	<i>C</i> , мг/кг	1,1	37	53	30
	<i>K</i>	0,87	0,42	0,78	1,25
Конечно-мо					
Валдайский	<i>C</i> , мг/кг	1,3	39	61	31
	<i>K</i>	1,03	0,44	0,90	1,29
Великолукский	<i>C</i> , мг/кг	1,0	173	115	27
	<i>K</i>	0,79	1,97	1,69	1,13
Моренно-равнинна я					
Ижорский	<i>C</i> , мг/кг	0,6	32	61	20
	<i>K</i>	0,48	0,36	0,90	0,83
Предвалдайский	<i>C</i> , мг/кг	2,4	195	94	42
	<i>K</i>	1,90	2,22	1,38	1,75
Западно-Двинский	<i>C</i> , мг/кг	0,8	32	80	15
	<i>K</i>	0,63	0,36	1,18	0,63
Лужско-Шелонский	<i>C</i> , мг/кг	2,1	157	56	31
	<i>K</i>	1,67	1,78	0,82	1,29
Региональный фон, мг/кг		1,26	88	68	24

ТАБ

## Среднее содержание С микроэлементов

Геохимический округ	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni
Водно-ледниково-озерно-					
Ловатско-Волховский	<i>C</i> , мг/кг	0,5	55	75	28
	<i>K</i>	0,27	0,67	0,94	0,65
Конечно-мо					
Валдайский	<i>C</i> , мг/кг	4,5	78	80	59
	<i>K</i>	2,42	0,95	1,00	1,37
Псковский	<i>C</i> , мг/кг	1,1	97	88	61
	<i>K</i>	0,59	1,18	1,10	1,42
Предвалдайский	<i>C</i> , мг/кг	2,1	146	99	48
	<i>K</i>	1,13	1,78	1,24	1,12
Западно-Двинский	<i>C</i> , мг/кг	1,1	34	60	19
	<i>K</i>	0,59	0,41	0,75	0,44
Региональный фон, мг/кг		1,86	82	80	43

## ЛИЦА 41

в карбонатной морене и коэффициент концентрации  $K$ 

Co	B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Nb	Ga	$K_{cp}$
равнинная пониженная область									
5 0,63	не опр. »	150 0,31	не опр. »	10 0,67	не опр. »	60 1,30	15 1,15	40 2,67	0,98
2 0,25	»	100 0,20	»	10 0,67	»	5 0,11	4 0,31	10 0,67	0,44
15 1,88	19	272 0,56	42 0,35	15 1,00	333 1,00	40 0,87	12 0,92	13 0,87	0,85
речная область									
11 1,37	34 0,58	575 1,18	123 1,02	16 1,07	359 1,08	49 1,07	18 1,38	12 0,80	1,02
9 1,13	60 1,02	574 1,18	108 0,89	21 1,40	431 1,29	56 1,22	20 1,54	12 0,80	1,22
пониженная область									
7 0,88	87 1,47	648 1,34	136 1,12	21 1,40	15 0,04	63 1,37	7 0,54	17 1,13	0,91
11 1,38	78 1,32	796 1,64	113 0,93	13 0,87	335 1,01	58 1,26	19 1,46	12 0,80	1,38
6 0,75	63 1,07	500 1,03	150 1,24	20 1,33	500 1,50	40 0,87	10 0,77	11 0,73	0,93
10 1,25	73 1,24	747 1,54	179 1,48	11 0,73	358 1,08	39 0,85	14 1,08	10 0,67	1,19
8 —	59 —	484 —	121 —	15 —	333 —	46 —	13 —	15 —	—

## ЛИЦА 42

в бескарбонатной морене и коэффициент концентрации  $K$ 

Co	B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Nb	Ga	$K_{cp}$
равнинная пониженная область									
11 1,01	75 1,04	925 1,38	88 1,05	16 1,07	не опр. »	60 1,11	8 0,50	24 1,50	0,93
речная область									
10 0,91	112 1,56	567 0,85	100 1,19	6 0,40	267 0,85	48 0,89	18 1,13	10 0,62	1,09
9 0,82	74 1,03	492 0,73	60 0,71	15 1,00	191 0,61	54 1,00	14 0,88	23 1,44	0,96
14 1,27	60 0,83	886 1,32	93 1,11	13 0,87	344 1,09	61 1,13	20 1,25	12 0,75	1,15
10 0,91	41 0,57	475 0,71	80 0,95	24 1,60	450 1,43	48 0,89	12 1,25	12 0,75	0,87
11 —	72 —	669 —	84 —	15 —	313 —	54 —	16 —	16 —	—

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДА РСФСР

В плодородии почв Нечерноземной зоны РСФСР важное значение имеют облигатные микроэлементы: медь, кобальт, цинк, марганец, никель, принимающие активное участие в физиологобиохимических процессах; играют свою роль и микроэлементы: стронций, барий, однако повышенные их концентрации оказывают отрицательное действие на живые организмы. Почвенный покров рассматриваемой зоны изучен в геохимическом аспекте недостаточно из-за отсутствия обобщенных материалов о валовых количествах облигатных микроэлементов. Настоящий раздел написан на основании исследований, проведенных Ф. Я. Сапринским, Э. И. Гагариной, А. Ф. Кулачковой, М. М. Лаврентьевой, О. В. Мамонтовой, Н. Н. Матинян, Л. С. Счастной, и посвящен выявлению закономерностей распространения биологически активных микроэлементов, выяснению их качественного и количественного распределения в почвенном покрове, развивавшемся в различных ландшафтно-геохимических обстановках.

Почвенный покров образован сочетанием дерново-подзолистых, дерново-подзолистых остаточно-карбонатных и дерново-подзолисто-глеевых почв различного механического состава с преобладанием суглинистых на моренных отложениях. Почвообразующая порода служит источником микроэлементов в почве, и распределение их в пахотном горизонте  $A_{\text{пах}}$  мощностью 0—20 см в значительно большей степени контролируется характером пород, чем чисто почвенными факторами [21]. На уровень содержания микроэлементов в почвах оказывает также влияние и их механический состав. Особенно это важно для Северо-Запада РСФСР, где благодаря активной деятельности ледников четвертичные отложения в значительной степени представляют собой механическую смесь материала, поступившего из разных источников без существенной химической переработки [47].

Сопоставление средних содержаний микроэлементов в пахотном горизонте почв Северо-Запада РСФСР (Псковская, Новгородская и Ленинградская области), Европейской части СССР [20] и кларков А. П. Виноградова [13] показывает (табл. 43), что почвенный покров Северо-Запада РСФСР заметно богаче цинком, кобальтом, медью, бором и беднее молибденом и барием по сравнению с почвами Русской равнины.

Влияние ландшафтно-геохимических обстановок на концентрацию микроэлементов в почвах можно видеть из табл. 44. Если учесть, что почвы развивались на почвообразующих породах, представленных механической смесью разных пород, то важное значение в перераспределении первичных концентраций микроэлементов приобретает ландшафтно-геохимическая обстановка, влияющая на формирование областей обогащения и обеднения микроэлементами. Для установления таких областей ис-

ТАБЛИЦА 43

Сравнительная характеристика средних содержаний С микроэлементов в почвах Северо-Запада РСФСР и Европейской части СССР (по отношению к кларкам А. П. Виноградова)

Регион	Показатель	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	B	Mn	Pb	Sr	Va
Северо-Запад РСФСР (2043 пробы)	<i>C</i> , мг/кг	1,52	41,3	75,5	16,7	9,8	33,0	675,4	18,4	156,1	243,0
	<i>K</i>	0,76	2,06	1,51	0,42	1,22	3,30	0,80	1,84	0,52	0,38
Европейская часть СССР	<i>C</i> , мг/кг	1,65	16,3	39,4	не опр.	8,6	24,5	642	не определялись	»	»
	<i>K</i>	0,83	0,82	0,79	»	1,08	2,45	0,76	»	»	»
Кларк А. П. Виноградова, мг/кг		2	20	50	40	8	10	850	10	300	650

ТАБЛИЦА 44

Среднее содержание микроэлементов (мг/кг) в почвах различных ландшафтно-геохимических областей Северо-Запада РСФСР

Ландшафтно-геохимическая область	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	B	Pb	Mn	Sr	Va	Сумма
Гляциально-эрзационно-цокольная пониженная	1,2	43	56	15	8	44	15	609	58	203	1052
Конечно-моренная возвышенная	1,1	41	63	15	9	43	17	719	183	112	1203
Конечно-моренная пониженная	2,4	87	97	19	10	44	16	663	62	255	1255
Моренно-равнинная пониженная	2,0	42	70	21	11	40	21	670	170	419	1466
Водно-ледниково-озерно-равнинная	1,4	39	58	14	8	24	17	620	182	264	1227
Региональный фон	1,5	41	76	17	10	33	18	675	156	243	

пользован коэффициент концентрации  $K$ , полученный делением среднего содержания микроэлемента в почве ландшафтно-геохимической области на среднее содержание его в регионе. В соответствии с этим концентрации микроэлементов разделены на три группы: фоновые ( $K=0,90 \div 1,09$ ); нижефоновые ( $K < 0,89$ ); вышефоновые ( $K \geq 1,10$ ). В табл. 45 приведены данные по выше- и нижефоновым концентрациям, характеризующим подвижность (перераспределение) микроэлементов.

На территории Северо-Запада РСФСР выделяется область накопления микроэлементов — конечно-моренная пониженнная, где среднее значение фона всех микроэлементов  $K_{cp}=1,25$ . В этой области большинство микроэлементов имеют вышефоновые концентрации, особенно медь и молибден. Почвы моренно-равнинной пониженной области не имеют нижефоновых концентраций микроэлементов, здесь  $K_{cp}=1,07$ . Во всех остальных ландшафтно-геохимических областях большинство микроэлементов представлены нижефоновыми концентрациями.

В условиях гумидного климата с периодическим переувлажнением, с высоким содержанием в почвах гумуса и преобладанием в его составе фульвокислот миграционная способность микроэлементов значительно возрастает [78], и особенно в почвах с легким механическим составом, обладающих повышенной промывной способностью. Из данных табл. 46 и 47 видно, что с утяжелением механического состава почвы возрастает общее содержание микроэлементов. При этом особо выделяются легко- и среднесуглинистые почвы, где все облигатные микроэлементы имеют вышефоновые концентрации (за исключением меди в среднесуглинистых почвах). Эти группы почв в основном развиты на карбонатных и бескарбонатных суглинках моренных равнин. Песчаные почвы отличаются резко выраженным дефицитом большинства микроэлементов на фоне повышенных концентраций меди и цинка. Обычно повышенные концентрации меди наблюдаются в почвах, развитых на тяжелых суглинках и глинах [21]. В тяжелосуглинистых почвах концентрация меди находится в пределах регионального фона. Для марганца, обладающего высоким коэффициентом биологического поглощения [62], характерен дефицит в песчаных и супесчаных почвах и фоновые концентрации — в тяжелосуглинистых.

Поведение микроэлементов в почвах различного механического состава в зависимости от ландшафтно-геохимических областей можно проследить по данным табл. 48. Песчаные почвы гляциально-эрзационно-цокольной пониженной области имеют нижефоновые концентрации никеля, бора, вышефоновую концентрацию цинка и фоновые содержания остальных микроэлементов. В конечно-моренной возвышенной области песчаные почвы не содержат микроэлементов с вышефоновыми концентрациями; большинство облигатных микроэлементов имеют здесь нижефоновые концентрации. В конечно-моренной пониженной области в этих почвах наблюдаются вышефоновые или

ТАБЛИЦА 45

Фоновые концентрации микроэлементов в почвах различных ландшафтно-геохимических областей  
Северо-Запада РСФСР

Ландшафтно-геохимическая область	Нижефоновые	Вышефоновые	$K_{cp}$
Гляциально-эрзационно-докольная пониженная	Ba 0,84; Co 0,82; Pb 0,82; Mo 0,79; Sr 0,37	B 1,33	0,83 0,93
Конечно-моренная возвышенная	Zn 0,83; Mo 0,72; Ba 0,46	B 1,30; Sr 1,17	
Конечно-моренная пониженная	Pb 0,87; Ba 0,50; Sr 0,40	Ba 1,78; Mo 1,58; Cu 2,10; B 1,33; Zn 1,28; Ni 1,14	1,25
Моренно-равнинная пониженная	—	Ba 1,72; Mo 1,32; Ni 1,26; B 1,21; Pb 1,14; Co 1,12	1,07
Водно-ледниково-озерно-равнинная	Mo 0,89; Ni 0,84; Co 0,80; Zn 0,77; B 0,74	Sr 1,17	0,92

ТАБЛИЦА 46

Среднее содержание основных микроэлементов (мг/кг) в пахотном горизонте почв различного механического состава Северо-Запада РСФСР

Почвы	Число проб	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	B	Pb	Mn	Sr	Ba	Сумма
Песчаные	236	1,16	50,0	83,1	11,7	5,5	25,0	18,2	546,0	67,8	331,0	1139,5
Супесчаные	653	1,46	38,4	61,8	13,7	7,5	31,3	21,1	619,4	173,1	189,6	1157,4
Легкосуглинистые	382	1,40	46,4	75,2	19,4	12,4	33,0	17,8	763,0	135,2	169,8	1273,6
Среднесуглинистые	457	1,84	33,8	75,6	17,9	12,3	39,0	17,8	794,0	232,2	322,0	1546,4
Тяжелосуглинистые	115	1,76	37,8	81,8	20,9	11,0	37,0	17,4	653,2	172,2	202,4	1235,5
Региональный фон	1843	1,52	41,3	75,5	16,7	9,7	33,1	18,5	675,1	156,1	243,0	

ТАБЛИЦА 47

Фоновые концентрации микроэлементов в пахотном горизонте почв различного механического состава Северо-Запада РСФСР

Почвы	Нижефоновые	Вышефоновые	$K_{ср}$
Песчаные	Mn 0,81; Mo 0,76; B 0,76; Ni 0,70; Co 0,57	Cu 1,21; Zn 1,10	0,93
Супесчаные	Zn 0,82; Ni 0,82; Ba 0,78; Co 0,76	Pb 1,15; Sr 1,11	0,92
Легкосуглинистые	Sr 0,87; Ba 0,70	Co 1,27; Ni 1,16; Mn 1,13; Cu 1,12	1,00
Среднесуглинистые	Cu 0,82	Sr 1,49; Ba 1,33; Co 1,26; Mo 1,21; B 1,18; Mn 1,18	1,15
Тяжелосуглинистые	Ba 0,83	Ni 1,25; Mo 1,16; Co 1,12; B 1,12; Sr 1,10	1,05

ТАБЛИЦА 48

Фоновые концентрации основных микроэлементов в различных почвах ландшафтно-геохимических областей  
Северо-Запада РСФСР

Почвы	Нижефоновые	Вышефоновые	$K_{ср}$
Гляциально-эрзационно-цокольная пониженная область			
Песчаные	Ni 0,86; B 0,39	Zn 1,20	0,76
Супесчаные	Co 0,80; Cu 0,70; Ni 0,66; Mo 0,62; B 0,51	Zn 1,29	0,80
Легкосуглинистые	Cu 0,63; B 0,39	Zn 1,37; Mn 1,34; Co 1,29	1,02
Среднесуглинистые	Ni 0,89; Mo 0,65; Cu 0,65; B 0,46	Zn 1,24; Co 1,22	0,91
Тяжелосуглинистые	Co 0,82; Mo 0,68; Zn 0,67; Ni 0,43; B 0,35; Cu 0,26	—	0,59
Конечно-моренная возвышенная область			
Песчаные	B 0,84; Ni 0,81; Co 0,81; Cu 0,60	—	0,72
Супесчаные	Zn 0,86; Mo 0,75	B 1,31	0,99
Легкосуглинистые	Co 0,89; Mn 0,89	B 1,58; Mo 1,14	1,05
Среднесуглинистые	Cu 0,89; Ni 0,89; Co 0,89; Zn 0,81; Mo 0,60	B 1,10	0,87
Тяжелосуглинистые	Zn 0,86; Mo 0,51	Cu 0,71; B 1,35; Ni 1,15	0,96

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Почвы	Нижефоновые	Вышефоновые	$K_{cp}$
Конечно-моренная пониженная область			
Песчаные	Mo 0,79	Cu 2,11; Zn 1,88; Mn 1,34; B 1,24	1,36
Супесчаные	—	Mo 1,50; Cu 1,43; Ni 1,24; B 1,21; Mn 1,19	1,25
Легкосуглинистые	Mn 0,86; Co 0,81	Mo 1,71; Cu 1,47; B 1,30	1,16
Среднесуглинистые	—	Mo 1,63; Co 1,48; Ni 1,28; B 1,21; Co 1,14	1,25
Тяжелосуглинистые	—	Mo 1,63; Cu 1,48; Ni 1,28; B 1,21; Co 1,14	1,25
Моренно-равнинная пониженная область			
Песчаные	Mn 0,82; Zn 0,84; Cu 0,79	Mo 1,38; B 1,37; Ni 1,36; Co 1,32	1,12
Супесчаные	Mn 0,89	Ni 1,24; B 1,18; Mo 1,16	1,07
Легкосуглинистые	Ni 0,86; B 0,73	Mo 1,64; Co 1,13	1,05
Среднесуглинистые	Mn 0,80	B 1,38; Mo 1,25	1,06
Тяжелосуглинистые	Mn 0,80	B 1,38; Mo 1,25	1,06
Водно-ледниково-озерно-равнинная область			
Песчаные	Mo 0,87; Zn 0,71	Cu 1,47; B 1,12	1,00
Супесчаные	Zn 0,86; Cu 0,85; Co 0,84; B 0,78	—	0,89
Легкосуглинистые	Co 0,89	Mo 1,43	0,87
Среднесуглинистые	Mo 0,87; Ni 0,86; B 0,85; Co 0,78	Mn 1,11	0,91
Тяжелосуглинистые	Mo 0,87; Ni 0,86; B 0,85; Co 0,78	Mn 1,11	0,91

фоновые концентрации для большинства элементов и только молибден имеет нижефоновую концентрацию. Показателем общей концентрации микроэлементов в почвах разных ландшафтно-геохимических областей является средний областной фон  $K_{cp}$ , который в нашем примере равен соответственно 0,76; 0,72; 1,36. Следует особо отметить конечно-моренную пониженную область, где все почвы имеют среднеобластной фон выше регионального. В моренно-равнинной пониженной области высокий фон характерен только для песчаных почв; концентрации микроэлементов в остальных почвах примерно равны региональному фону. Почвы всех других областей испытывают большой дефицит во многих микроэлементах.

## ГЛАВА 6

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД И ПОЧВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РСФСР

Процесс формирования почв сопровождается выветриванием почвообразующих горных пород вплоть до образования тонкодисперсных илистых веществ. Этому процессу активно способствуют влажность, температурный фактор, деятельность микробов, а также гумусовые кислоты. В. В. Пономаревой и др. [64] на основании экспериментальных исследований силикатные минералы по степени устойчивости их к агрессивным действиям гумусовых кислот были разбиты на группы: 1) устойчивые — кварц, каолинит, микроклин, степень разложения за 200 сут воздействия составила 0,1—1%; 2) легкоразлагаемые — нефелин, вермикулит, мусковит, биотит, монтмориллонит, степень разложения за 200 сут равна 3—12%. По степени устойчивости изученные минералы располагаются в следующий ряд: кварц > каолинит > микроклин > плагиоклаз > монтмориллонит > биотит > мусковит > вермикулит > нефелин. Установлено, что в одних биоклиматических условиях происходит вертикальное передвижение и перераспределение продуктов разложения минералов, а в других условиях они закрепляются на месте в различных вторичных формах (степные и лугово-степные почвы).

Наблюдается различие в действии гуминовых и фульвокислот при разложении силикатных минералов. При реакциях с фульвокислотами происходит соосаждение из растворов фульво-глиноземных соединений, с гуминовыми кислотами такого соосаждения не наблюдается. Способность фульвокислот к соосаждению помогает объяснить формирование гумусово-иллювиальных горизонтов, образованных в основном фульвокислотами и алюминием. Гуминовые и фульвокислоты по степени активности в разложении силикатных минералов не уступают друг другу, однако гуминовые кислоты извлекают из минералов меньше кальция, что дает возможность объяснить особенности оподзоливания серых лесных почв, характеризующихся значительными содержаниями кальция в оподзоленных горизонтах по сравнению с дерново-подзолистыми почвами.

С движением воды в глубь пород происходит изменение их состава, выражющееся в уменьшении содержания окислительных реагентов и постепенном увеличении щелочных реагентов. Поэтому в верхних горизонтах осадочных пород разрушаются минералы, неспособные существовать в кислых средах; в нижних горизонтах образуются вторичные аутигенные минералы, устойчивые в щелочных средах.

С. Боул и др. [6] дают общую характеристику условий образования и сохранения обычных глинистых минералов смектита.

1. Монтмориллонит синтезируется в условиях сравнительно высоких концентраций кремнезема и магния вблизи выветриваю-

щихся силикатов с повышенным содержанием магния и железа. Он неустойчив в условиях высокой концентрации гидрония (гидроксильная группа) и при сильном выщелачивании. Сохраняется при интенсивном выветривании в тех случаях, когда унаследован от материнской породы.

2. Вермикулит образуется в условиях умеренной концентрации ионов гидрония, при этом калий (и магний) оказывается полностью вытесненным из межслоевых пространств. В исходном материале обязательно присутствие слюды. Концентрация кремнезема должна быть высокой, а алюминия в почвенном растворе низкой, иначе алюминий выпадает из раствора с образованием переходных 2:1—2:2-слоистых минералов.

3. Иллит требует для своего образования присутствия слюд в исходной породе и средней или высокой степени концентрации гидрония, способного частично вытеснить калий из межпакетных пространств. Устойчивость процесса определяется сравнительно высокой концентрацией как алюминия, так и кремнезема.

4. Каолинит синтезируется примерно при равных концентрациях алюминия и кремнезема, при высокой концентрации гидрония и, что особенно важно, при отсутствии магния и других оснований.

5. Галлуазит синтезируется при равных концентрациях алюминия и кремнезема, освободившихся при быстром выветривании полевых шпатов, или в результате преобразования аллофанов в более упорядоченные кристаллические структуры, что требует высоких концентраций гидрония и низкого содержания или отсутствия оснований.

6. Гётит образуется в условиях сравнительно высокой и средней концентрации гидрония (положительный окислительно-восстановительный потенциал) при быстром распаде железисто-магнезиальных минералов или в результате конденсации со временем гидратированного аморфного геля. При продолжительных резко окислительных условиях ( $Eh > +100$  мВ) и средних значениях pH идет медленное образование гематита.

7. Гематит образуется при высоких значениях Eh и нейтральном или слабощелочном значении pH путем потери гидроокислов более гидратированными формами (гётитом) или непосредственно в результате разрушения железисто-магнезиальных минералов при высоких значениях pH.

8. Гиббсит образуется и сохраняется в условиях низкой концентрации гидрония при отсутствии или ничтожном количестве оснований; может возникнуть при старении алюминиевых аллофанов.

9. Аллофаны образуются в условиях от средней до высокой концентрации гидрония и высокой влажности систем в результате быстрого выветривания некристаллических вулканических пеплов и редко — полевых шпатов.

Гранулометрический и минералогический состав почв определяется составом почвообразующих пород (табл. 49). Макси-

мальное содержание илистых фракций приурочено к безвалунным и ленточным глинам, по природе своей являющимся предельным продуктом разрушения горных пород в результате деятельности ледников. Минимальное содержание илистой фракции относится к различным пескам, имеющим в своей основе кристаллическое строение.

Развитие почвообразовательного процесса зависит от состава исходных пород, климатических условий и геохимической обстановки, что влияет и на распределение минеральных компонентов по профилю почвенного покрова. Аллювиально-иллювиальный тип характеризуется обеднением верхних горизонтов илистыми частицами, соединениями железа, алюминия и обогащением ими иллювиальных горизонтов относительно почвообразующей породы. Элювиальный тип, наиболее распространенный, характеризуется интенсивным выносом илистых фракций и железа из всего профиля при отсутствии или малой степени накопления их в иллювиальном горизонте с исчезновением мелких частиц ( $<0,0002$  мм).

Химический и минералогический состав почв и почвообразующих пород нечерноземной зоны изучен недостаточно. Исследования А. А. Хантулева и др. [57] дают общее представление о механическом и минералогическом составе почвообразующих пород Северо-Запада, одного из основных районов Нечерноземной зоны РСФСР. Почвообразующие породы этого района могут быть подразделены на три основные группы: 1) суглинки, реже валунные карбонатные и бескарбонатные глины; 2) глины, реже тяжелые неслоистые безвалунные суглинки; 3) песчаные и супесчаные отложения.

В первой группе, представленной в основном ледниковыми моренными отложениями, в песчано-алевритовой фракции преобладают кварц (70—85 %), полевые шпаты (10—20 %) и слюды (5—10 %). В тяжелой фракции, содержание которой обычно не превышает 1 %, установлено не менее 30 минеральных составляющих: рудные минералы (35—50 %), амфиболы, роговая обманка (20 % и более), эпидот (15—20 %), гранат (5—10 %) и циркон (3—5 %); в меньшем количестве иногда присутствуют лейкоксен, сфен, рутил. Глинистая фракция морен представлена в основном гидрослюдами, которые часто находятся вместе с минералами гидрослюдисто-монтмориллонитового типа.

В породах второй группы в грубоалевритовой фракции содержание кварца доходит до 73 %, полевых шпатов 15 %, слюд 4 %; могут присутствовать и карбонаты — до 3 %. В илистой фракции преобладают гидрослюды с примесью каолинита, гётита, кварца. Среди минералов тяжелой фракции наблюдаются рудные, амфиболиты, пироксены, гранат, циркон, а также рутил, эпидот, турмалин, апатит (менее 1 %) и иногда карбонаты. Для ленточных глин характерно пониженное содержание тяжелой фракции (около 0,5 %), и только на Карельском перешейке ее содержание достигает 1 %. В легкой фракции преобладают

ТАБЛИЦА 49

Гранулометрический состав различных почвообразующих пород Северо-Запада РСФСР [57]

Порода	Район отбора пробы	Глубина, см	п. п. п., %	Содержание фракций (%) разного диаметра, мм						
				1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01
Карбонатная морена С примесью звон- цовой глины	Валдайская возвышенность	130—135	3,15	7,8	34,9	17,1	7,4	9,1	20,6	37,1
Красно-бурая	» »	100—110	7,7	11,8	31,4	16,5	2,2	8,8	21,6	32,6
	Невельско-Городецкая возвы- шенность	160—170	не опр.	17,6	27,5	19,3	4,3	7,8	18,1	30,2
Рыхки	Приильменская низина	90—100	21,3	4,2	1,9	27,0	6,8	12,9	26,4	45,5
Желто-серая вы- щелоченная	Ордовикское плато	40—50	28,9	10,4	3,5	8,2	1,1	4,4	12,9	28,4
Красноцветы девона	» »	121—126	не опр.	12,0	22,7	19,3	6,9	15,6	23,4	45,9
Глина	Приильменская низина	120—125	» »	2,7	67,6	12,8	1,4	2,7	12,2	16,3
Безвалунная типа звонца	Вепсогская возвышенность	125—135	4,4	1,4	39,1	3,2	8,9	8,9	34,2	52,0
Бежаницкая возвышенность	Бежаницкая возвышенность	120—125	11,3	0,2	0,4	39,0	1,9	2,0	45,2	49,1
Ленточная	Валдайская возвышенность	60—70	2,8	0,4	53,6	1,4	5,5	7,7	28,6	41,8
	Карельский перешеек	120—130	4,9	0,1	3,3	3,3	20,8	31,5	36,1	88,4
	Приневская низина	120—130	3,3	0,2	2,0	8,4	7,1	47,7	31,3	86,1
	Приильменская низина	120—130	1,4	0,2	5,6	10,7	13,5	31,9	36,6	82,0
Песок	Великорецкая равнина	160—170	16,1	0,2	3,1	5,0	13,5	24,1	38,0	75,6
Камовый	» »	125—135	не опр.	81,0	9,2	0,6	0,2	0,2	1,7	2,1
Озерно-леднико- вой	Вепсовская возвышенность	120—130	8,6	85,5	10,6	1,3	0,1	1,2	1,2	2,5
Флювиогляциаль- ный	Валдайская возвышенность	100—110	не опр.	4,8	91,5	1,7	0,1	0,2	1,3	1,6
	» »	110—120	» »	91,6	4,3	0,6	0,5	0	2,4	2,9

кварц (до 90 %), полевые шпаты (10—15 %), слюда (до 5 %). Глинистые минералы представлены диоктаэдрической гидрослюдой, каолинитом, местами с незначительной примесью минералов монтмориллонитовой группы. Песчаные прослои содержат больше тонкодисперсного кварца, каолинита и минералов хлоритовой группы по сравнению с глинистыми прослоями.

В третьей группе пород тонкодисперсная часть флювиогляциальных песков представлена гидрослюдами, каолинитом и кварцем. Камовые пески бывают разной степени сортированности и обогащенности алюмосиликатными минералами и, как следствие, имеют разный химический состав. Легкие фракции камовых отложений (0,25 мм) содержат кварц и обломки кристаллических пород; в составе фракций более 0,25 мм — кварц, ортоклаз, кислый пластиоклаз, гидратированные слюды. Среди минералов тяжелой фракции встречаются роговая обманка, гранат, магнетит, ильменит, гётит, лимонит, биотит, авгит, апатит, турмалин, циркон. По минералогическому составу озерно-ледниковые отложения существенно не отличаются от ледниковых, но выход тяжелых фракций в них незначителен (0,5—0,6 % и менее).

В зависимости от степени выветривания почвообразующих пород в составе почв устанавливаются различные по крупности

ТАБ  
Химический состав (%) илистых

Почвы	Разрез	Гори- зонт	Глубина, см	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Дерново-сильноподзолистая суглинистая на карбонатной морене (Псковская область)	138	<i>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></i>	10—20	1,54	24,96
		<i>B</i>	40—50	1,97	25,75
		<i>C</i>	170—180	2,03	24,58
Дерново-среднеподзолистая (с контактным освещенным горизонтом) суглинистая на карбонатной морене (Новгородская область)	157а	<i>A<sub>2</sub></i>	20—30	2,19	23,70
		<i>B</i>	60—70	2,51	24,02
Дерново-сильноподзолистая суглинистая на карбонатной морене с примесью девонского песчаника (Ленинградская область)	246	<i>B</i>	45—55	3,37	21,86
		<i>C</i>	110—120	2,91	21,16
Дерново-подзолистая глеевая суглинистая на бескарбонатной морене (Псковская область)	300	<i>A<sub>2</sub>B</i>	50—60	3,17	22,20
		<i>C</i>	100—108	3,55	21,03
Торфянный подзол супесчаный на суглинистой морене (Ленинградская область)	142	<i>A<sub>2</sub></i>	37—44	2,60	23,66
		<i>B (C<sub>2</sub>)</i>	70—80	2,82	22,91
		<i>C<sub>2</sub></i>	110—115	2,77	22,76
Дерново-палево-подзолистая легкосуглинистая на красно-буровой морене (Новгородская область)	164	<i>A<sub>2</sub>B</i>	33—43	2,41	23,64
		<i>B<sub>1</sub></i>	50—60	2,43	23,32
		<i>C</i>	120—130	2,53	22,95
Палево-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной бурой морене (Псковская область)	292	<i>B<sub>1</sub></i>	10—20	2,27	23,22
		<i>B<sub>2</sub></i>	30—40	2,59	23,36
		<i>B<sub>2</sub></i>	60—70	2,73	22,26
		<i>C</i>	110—120	2,33	21,62

гранулометрические фракции, в том числе и илистая, являющаяся относительно конечной стадией разрушения. В илистой фракции благодаря процессу раскристаллизации большинство химических элементов находится в доступной для питания растений форме, т. е. плодородие почв во многом зависит от количественного содержания илистой фракции.

Исследование минералогического состава различных гранулометрических фракций некоторых почвенных разрезов Северо-Запада РСФСР, сформированных на разных по составу моренах, проведенное Ф. Я. Сапрыкиным, Э. И. Гагариной и А. Ф. Кулаковой, показало, что образование илистых фракций происходит активно в верхних горизонтах почв на контакте с атмосферой. При промывании почв атмосферными осадками часть ила перемещается в нижние горизонты, где и накапливается. Почвы, развитые на слоистых песчаных образованиях, содержат значительно меньшее количество илистой фракции, которая в основном концентрируется в верхнем горизонте почвенного разреза (49%). Исследование илистых фракций почв, образовавшихся на различных моренах, показало близость их химического состава независимо от того, в каком горизонте почвенного разреза они находятся и каков характер моренных отложений (табл. 50).

#### ЛИЦА 50

#### фракций почв (< 0,001 мм)

SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	п. п. п.
45,01	0,27	0,34	2,65	0,41	0,94	0,10	5,99	1,44	16,37
47,05	0,16	0,16	3,97	0,65	0,94	0,12	10,49	0,29	8,40
49,00	0,09	0,16	4,98	0,31	0,98	0,05	10,42	0,65	6,78
46,13	0,26	0,59	2,73	0,50	1,06	0,15	8,63	—	14,06
47,27	0,18	0,25	3,49	0,77	0,99	0,09	11,49	0,29	8,60
45,74	0,13	0,10	4,45	0,83	0,85	0,07	10,87	0,72	11,11
49,39	0,06	0,19	5,17	0,29	1,03	1,03	11,78	0,43	6,60
47,98	0,05	0,37	3,77	0,68	0,95	0,04	10,28	0,72	9,84
48,52	0,12	0,61	4,14	0,88	0,95	0,05	10,67	1,04	8,44
47,47	0,18	0,40	3,58	0,36	1,18	0,08	10,93	0,57	8,90
47,28	0,21	0,37	3,55	0,82	0,97	0,10	11,24	0,29	9,48
46,38	0,20	0,45	3,62	0,86	0,95	0,12	11,53	0,29	10,00
46,37	0,20	0,02	4,43	0,36	0,95	0,06	10,69	0,43	8,49
47,23	0,24	0,15	4,51	0,57	0,90	0,04	10,25	0,29	10,00
48,54	0,11	0,14	5,13	0,22	0,94	0,06	10,49	0,22	8,77
45,90	0,14	0,30	3,82	0,33	1,04	0,14	9,58	1,72	11,50
47,20	0,14	0,14	4,07	0,47	0,92	0,04	15,01	0,43	5,68
46,73	0,15	0,37	4,03	1,12	0,85	0,06	10,40	0,43	10,89
50,27	0,14	0,27	4,81	0,42	0,98	0,03	10,31	0,57	8,80

Однако, как указывают Э. И. Гагарина и др. [16], железо — этот важный химический элемент, определяющий не только цвет, но и физико-химические свойства илистых фракций, ведет себя необычно. На фоне слабой дифференциации валового содержания железа отмечаются незначительное обеднение им илистых фракций верхних горизонтов или незначительные колебания его концентрации. При исследовании форм нахождения железа в илистой фракции звонцовых глин было установлено, что примерно одна пятая часть железа представлена несиликатной формой и присутствует в виде оболочек на поверхности частиц. Половина из этого количества железа находится в более подвижной форме, половина — в более окристаллизованной (табл. 51).

ТАБЛИЦА 51

Содержание различных форм железа (%) в илистых фракциях почв на звонцовых глинах

Гори- зонт	$Fe_t$ валовое	$Fe_d$ дитио- нитное	$Fe_o$ оксалат- ное	$Fe_s$ окристиал- лизован- ное	$Fe_d - Fe_o$	$Fe_d/Fe_t$ , %	$Fe_o/Fe_t$ , %
Разрез 146							
$A_1$	10,50	4,79	0,64	5,71	4,15	45,6	6,1
$A_1 A_2$	11,38	7,80	4,16	3,58	3,64	68,5	36,5
$A_2 B$	11,44	5,36	2,71	6,08	2,65	46,8	23,7
$B$	10,32	4,75	2,27	5,57	2,48	46,0	22,0
$B$	10,06	5,33	2,28	4,73	3,05	53,0	22,7
$B$	10,54	4,34	2,41	6,20	1,93	41,2	22,9
$B$	11,18	4,68	2,42	6,50	2,26	41,9	21,6
$BC$	10,39	5,20	2,41	5,12	2,79	50,0	23,1
$C$	10,06	5,14	2,47	4,92	2,67	51,1	24,6
Разрез 43							
$A_1$	10,19	1,51	0,89	8,68	0,62	14,8	8,7
$A_1 A_2$	10,33	2,37	1,36	7,96	1,01	22,9	13,2
$B_1$	11,13	2,56	1,60	8,57	0,96	23,0	14,4
$B_2$	11,50	4,07	1,81	7,43	2,26	35,4	15,7
$B_3$	11,56	2,71	1,37	8,85	1,34	23,4	11,9
$B_{ck}$	11,88	2,23	1,38	9,65	0,85	18,8	11,6
$C_k$	11,75	2,26	1,00	9,49	1,26	19,2	8,5

Минералогический состав илистых фракций почв, развитых на различных моренах, весьма прост и представлен в основном гидрослюдами и каолинитом, в отдельных случаях присутствуют кварц и иллит, небольшие примеси плагиоклаза, следы хлорита и калиевого полевого шпата (табл. 52). Немаловажное значение имеет органическое вещество, которое присутствует в виде органоминеральных комплексов, в основном в верхних горизонтах почвенного разреза. Как указывает Э. И. Гагарина, содержание гумуса больше связано с гранулометрическим составом почв,

ТАБЛИЦА 52

Минералогический состав илистых фракций  
некоторых почв Северо-Запада РСФСР

Раз- рез	Почвы	Глубина, см	Выход фракции, %	Распределе- ние по гори- зонтам, %	Минералогический состав, %			
					Гидро- слюда	Као- ли- нит	Орга- ничес- кое ве- щество	Иллит
157a	Дерново-среднепод- золистая (с кон- тактным освет- ленным горизон- том) суглинистая на карбонатной морене (Новго- родская область)	2—10	2,30	10,0	++	—	20	—
		20—30	3,03	13,3	60—70	—	10	—
		60—70	9,55	41,8	90	5	—	—
		135—145	7,95	34,9	90	2—3	—	+++
138	Дерново-сильнопод- золистая сугли- нистая на карбо- натной морене (Псковская об- ласть)	10—20	6,37	15,0	++	—	12—13	
		40—50	18,10	42,5	90	5	2	
		170—180	18,10	42,5	85	10	—	+++
246	Дерново-сильнопод- золистая сугли- нистая на карбо- натной морене с примесью де- вонского песчан- ника (Ленинград- ская область)	9—14	0,93	3,5	50	—	25—26	—
		20—30	1,85	7,0	50	—	9	—
		45—55	14,10	53,1	90	2	2,5	—
		110—120	9,65	36,4	90	2	1,3	—
164	Дерново-палево-под- золистая легко- суглинистая на красно-буровой морене (Новгород- ская область)	10—20	6,86	10,7	40	—	27	—
		33—43	3,85	6,0	58	5	13	
		50—60	25,06	40,0	60	5—8	3	+++
		120—130	27,98	43,3	70	5—8	—	—
292	Палево-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной буровой морене (Псковская область)	10—20	6,74	13,0	50	5—8	—	—
		30—40	18,77	36,2	75	3	9	—
		60—70	15,65	30,2	80	5	3	—
		110—120	10,65	20,6	70—80	3	3	—
142	Торфянистый под- зол супесчаный на суглинистой морене (Ленин- градская область)	15—25	2,28	6,1	40—50	2	14	—
		37—44	8,87	23,9	75	5	3	—
		70—80	12,89	32,8	85—90	3—5	2	
		110—115	13,23	38,2	90	3—5	1	+++
300	Дерново-подзоли- стая глеевая су- глинистая на бес- карбонатной мор- ене (Псковская область)	10—20	2,98	9,0	60	—	11	—
		50—60	15,67	47,7	85	5	1,5	—
		100—108	14,21	43,3	75	12	1,8	+++

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Раз- рез	Почвы	Глубина, см	Выход фракции, %	Распреде- ление по го- ризонтам, %	Минералогический состав, %			
					Гидро- слюда	Као- линият	Орга- ничес- кое ве- щество	Иллит
295	Неоподзоленная ожелезненная песчаная на сло- истых песчаных отложениях (Псковская об- ласть)	5—17	1,86	49,0	++	—	30	—
		18—28	0,80	21,0	++	—	18	—
		50—60	0,50	13,1	++	—	++	—
		120—130	0,64	16,9	50—60	2	6	—

Примечания. 1. Знаки показывают: ++ минерал присутствует; + есть небольшая примесь минерала; — минерал отсутствует. 2. В разрезах 157а, 138, 164, 300 установлена небольшая примесь кварца в нижних горизонтах.

чем со степенью их оподзоленности, т. е. более тяжелые дерново-подзолистые почвы содержат и больше гумуса.

Легкая фракция почв, развитых на морене, составляет 98,24 %, тяжелая 0,51—0,64 %; для почв, образовавшихся на слоистых песчаниках, соответственно 92,8—97,3 и 2,17—9,18 %. Минералогический состав легких фракций (0,1—0,01 мм) представлен в основном кварцем, кислым и средним плагиоклазом, присутствуют калиевый полевой шпат, шамозит, биотит и хлорит (табл. 53). Более богата минералами тяжелая фракция (0,1—0,01 мм), в составе которой установлено 30 минералов. Ве-

ТАБ  
Минералогический состав легких фракций

Разрез	Почвы	Глубина, см	Кварц
157а	Дерново-среднеподзолистая (с контактным осветленным горизонтом) суглинистая на карбонатной морене (Новгородская область)	2—10	+
		20—30	+
		60—70	осн.
		135—145	осн.
292	Палево-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной бурой морене (Псковская область)	10—20	осн.
		30—40	осн.
		60—70	осн.
		110—120	осн.
300	Дерново-подзолистая глеевая суглинистая на бескарбонатной морене (Псковская область)	10—20	+
		50—60	+
		100—108	+
295	Неоподзоленная ожелезненная песчаная на слоистых песчаных отложениях (Псковская область)	5—17	+
		18—28	—
		120—130	осн.

Примечание. Приняты обозначения: осн. — ведущий минерал фракции; + ми

дущими являются роговая обманка, содержание которой колеблется в пределах 27—50 %, ильменит (11—30,4 %), эпидот (до 25,3 %), альмандин (до 22,4 %), циркон (0,5—12 %), магнетит (до 7,7 %), лимонит (до 11 %), тремолит (до 7,7 %) (табл. 54). Роговая обманка и ильменит присутствуют во всех 100 % проб, эпидот — в 79 %, альмандин — в 29 %, циркон — в 7 %. Эпидот, альмандин, циркон, магнетит, сфен встречаются в 5—10 % проб.

Минералогический состав легкой и тяжелой фракции 0,25—0,1 мм не изучался.

Минералогический состав почв, как уже отмечалось, зависит в основном от минералогического состава почвообразующих пород. По содержанию в почве легких и тяжелых минералов можно судить о присутствии их в почвообразующих породах, и наоборот. Почвы Северо-Запада РСФСР по легким минералам относятся к кварцево-плагиоклазовым, а по тяжелым — к роговообманково-ильменит-эпидотовым.

Содержание микроэлементов в гранулометрических фракциях почв, развитых на различных почвообразующих породах, представлено в табл. 55—59. Из этих таблиц видно, что максимальные концентрации микроэлементов приурочены к тяжелым фракциям. В табл. 60 показаны ассоциации ведущих микроэлементов, построенные в ряды по убыванию их фоновых концентраций (частное от деления содержания микроэлемента во фракции на его среднее содержание в пробе почвы). В тяжелой фракции 0,25—0,1 мм почти все микроэлементы превышают фон почвы, и особенно три первых элемента в ряду. В двух случаях из пяти отсутствуют ведущие микроэлементы в илистой фракции и в трех случаях — в легкой фракции 0,25—0,1 мм.

#### ЛИЦА 53

почв Северо-Запада РСФСР (0,1—0,01 мм)

Кислый плагиоклаз	Средний плагиоклаз	Калиевый полевой шпат	Шамозит	Биотит	Хлорит
осн.	осн.	+	—	+	—
осн.	осн.	+	—	++	—
+	+	+	—	+	+
+	+	+	—	+	—
осн.	осн.	+	+	—	—
осн.	осн.	+	++	—	—
осн.	осн.	+	+	—	—
+	осн.	+	—	+	—
осн.	осн.	—	—	—	—
осн.	осн.	—	—	—	—
осн.	осн.	—	—	—	—
осн.	осн.	—	—	—	—
осн.	осн.	—	—	—	—

минерал присутствует в небольшом количестве; — минерал отсутствует.

ТАБЛИЦА 54

Минералогический состав (%) тяжелых фракций почв Северо-Запада РСФСР (0,1—0,01 мм)

Разрез	Почвы	Глубина, см	Масса фракции, г	Роговая обманка	Ильменит	Эпидот	Альмандин	Циркон	Магнетит	Апатит	Лимонит	Рутил	Лейкоксси	Турмалин
157a	Дерново-среднеподзолистая (с контактным осветленным горизонтом) суглинистая на карбонатной морене (Новгородская область)	2—10 20—30 60—70 135—145	0,40 1,21 0,32 0,14	31,6 50,0 35,2 48,3	28,4 20,0 30,4 11,0	25,3 20,5 10,2 8,3	1,6 — 6,4 3,7	5,7 1,5 7,4 12,0	— — 3,2 7,7	0,1 рз 0,1 —	0,5 0,7 2,0 11,0	1,9 1,0 1,6 2,6	0,7 0,3 0,4 1,3	0,5 1,2 0,3 1,1
292	Палево-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной бурой морене (Псковская область)	10—20 30—40 60—70 110—120	0,25 0,31 0,26 0,27	39,9 29,1 27,0 37,2	26,6 26,9 21,6 14,6	2,0 11,2 12,6 16,7	9,6 9,6 21,6 16,2	5,0 6,0 9,2 5,1	4,0 3,1 3,9 3,7	— 4,4 1,4 0,9	2,7 рз 1,3 0,3	1,3 0,5 0,7 1,4	0,7 2,5 0,2 0,6	1,0 2,5 0,7 2,4
300	Дерново-подзолистая глеевая суглинистая на бескарбонатной морене (Псковская область)	10—20 50—60 100—108	0,68 0,25 0,40	45,6 46,4 41,6	18,2 20,9 24,9	22,8 9,9 15,2	2,5 2,6 2,0	1,0 0,5 1,5	— — 5,1	0,1 — —	0,4 0,5 0,4	0,4 1,0 0,1	рз рз рз	0,4 0,5 0,4
295	Неоподзоленная ожелезненная песчаная на слоистых песчаных отложениях (Псковская область)	5—17 18—23 120—130	0,61 0,79 0,95	26,5 32,1 40,7	27,3 14,4 12,7	18,0 11,2 —	13,1 22,4 1,3	4,0 4,6 4,4	3,6 6,7 3,6	2,0 1,5 3,8	0,7 3,2 5,9	0,4 0,5 0,2	0,2 0,1 0,5	2,9 1,9 1,6

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Разрез	Почвы	Глубина, см	Масса фракции, г					Софен	Монацит	Бистит	Анатаз	Дистен	Полуизмененная роговая обманка	Куммингтонит	Гематит
				Цеолит	Тремолит	Клиноцизит									
157а	Дерново-среднеподзолистая (с контактным осветленным горизонтом) суглинистая на карбонатной морене (Новгородская область)	2—10 20—30 60—70 135—145	0,40 1,21 0,32 0,14	— — — —	— — — —	— — — —	0,4 1,0 0,4 0,6	рз — 0,1 рз	— — 0,1 —	0,7 рз 0,4 рз	0,3 — 0,2 0,6	2,5 1,9 1,3 —	0,1 1,9 — —	— — — —	
292	Палево-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной бурой морене (Псковская область)	10—20 30—40 60—70 110—120	0,25 0,31 0,26 0,27	0,8 — — —	— 0,6 0,1 0,5	6,0 3,3 — —	0,2 — рз —	— — — —	рз рз рз 0,3	— — 0,1 0,1	— рз — —	— — — —	— — — —	0,2	
300	Дерново-подзолистая глеевая суглинистая на бескарбонатной морене (Псковская область)	10—20 50—60 100—108	0,68 0,25 0,40	1,0 рз —	4,6 7,7 1,5	— — —	1,0 8,1 6,3	0,9 — рз	0,2 — 0,2	— — —	— — —	— 1,9 0,4	— — —	— — —	
295	Неоподзоленная ожелезненная песчаная на слоистых песчаных отложениях (Псковская область)	5—17 18—23 120—130	0,61 0,79 0,95	0,1 — 15,1	0,9 1,4 рз	— — —	0,1 ед. рз	— ед. 4,8	0,1 рз 0,6	0,1 рз —	рз рз 4,0	— — —	— — —	— — —	

П р и м е ч а н и я . 1. Приняты обозначения: рз — редкие зерна; ед. — единичные зерна. 2. В небольших количествах встречены: гиперстен 0,4 % (разрез 300, глубина 100—108 см); пироксен 0,8 % (295, глубина 120—130 см); щелочная роговая обманка 0,3 %, ставролит 0,3 % (157а, глубина 135—145 см).

ТАБЛИЦА 55

Распределение микроэлементов по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистых почв, развитых на карбонатной морене

Микро- элементы	Илистая		Легкая (0,1—0,01 мм)		Легкая (0,25—0,1 мм)		Тяжелая (0,1—0,01 мм)		Тяжелая (0,25—0,1 мм)		Сумма, мг/кг
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	
Zn	145	18,4	233	29,5	74	9,4	137	17,4	200	25,37	789
V	81	30,3	38	14,2	18	6,7	87	32,6	43	16,1	267
B	71	16,4	78	18,0	42	9,7	129	29,8	113	26,1	433
Zr	93	4,0	375	16,3	149	6,5	683	29,6	1000	43,5	2300
Sr	47	10,4	87	19,2	50	11,1	133	29,4	135	29,9	452
Cu	26	15,4	33	19,5	30	18,0	35	20,7	45	26,6	169
Ni	21	24,0	14	16,0	11	12,5	27	30,7	15	17,0	88
Y	19	15,7	26	21,5	12	9,9	29	24,0	35	28,9	121
Nb	11	11,6	21	22,1	20	21,0	22	23,2	21	22,1	95
Ga	10	20,4	10	20,4	9	18,4	10	20,4	10	20,4	49
Sc	33	45,8	5	6,9	6	8,3	14	19,4	14	19,4	72
Pb	8	7,8	19	18,4	16	15,5	20	19,4	40	38,8	103
Co	8	19,5	8	19,5	8	19,5	10	24,5	7	17,0	41
Sn	7	16,3	16	37,2	4	9,3	10	23,3	6	14,0	43
Сумма	580	11,0	963	19,0	449	8,9	1346	26,1	1684	35,0	5022

ТАБЛИЦА 56

Распределение микроэлементов по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистых почв, развитых на бурой карбонатной морене

Микро- элементы	Илистая		Легкая (0,1—0,01 мм)		Легкая (0,25—0,1 мм)		Тяжелая (0,1—0,01 мм)		Тяжелая (0,25—0,1 мм)		Сумма, мг/кг
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	
Zn	134	15,0	94	10,2	60	6,5	108	11,7	525	57,0	921
V	84	35,7	33	14,0	19	8,1	45	19,0	54	23,0	235
B	58	13,6	68	16,0	40	9,4	85	19,9	175	41,0	426
Zr	71	3,3	344	15,9	125	5,8	900	41,5	725	33,5	2165
Sr	37	8,3	85	19,2	51	11,5	143	32,2	128	28,8	444
Cu	38	11,5	31	9,3	31	9,3	85	25,7	146	44,2	331
Ni	22	23,2	13	13,7	12	12,6	15	15,8	33	34,7	95
Y	24	17,0	24	17,0	15	10,6	41	29,0	37	26,2	141
Nb	13	12,4	23	21,9	21	20,0	20	19,0	28	26,7	105
Ga	10	21,3	10	21,3	8	17,0	9	19,1	10	21,3	47
Sc	10	20,0	5	10,0	5	10,0	18	36,0	12	24,0	50
Pb	7	3,5	23	11,5	20	10,0	120	60,3	29	14,0	199
Co	5	12,8	8	20,5	8	20,5	7	17,9	11	28,3	39
Sn	3	8,1	12	32,4	7	18,9	7	18,9	8	21,6	37
Сумма	516	9,8	773	16,7	422	8,4	1603	30,6	1921	34,5	5235

ТАБЛИЦА 57

Распределение микроэлементов по гранулометрическим фракциям дерново-подзолистой глеевой почвы, развитой на бескарбонатной морене

Микро-элементы	Илистая		Легкая (0,1—0,01 мм)		Легкая (0,25—0,1 мм)		Тяжелая (0,1—0,01 мм)		Тяжелая (0,25—0,1 мм)		Сумма, мг/кг
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	
Zn	90	15,1	113	19,0	60	10,0	117	19,6	217	36,3	597
V	73	15,9	40	8,7	60	13,1	103	22,4	183	39,8	459
B	29	7,0	117	28,4	30	7,2	103	25,0	133	32,3	412
Zr	66	5,4	267	21,7	60	4,9	367	29,9	467	38,5	1227
Sr	63	13,4	93	19,8	93	19,8	100	21,3	120	25,7	469
Cu	28	16,4	30	17,5	30	17,5	40	23,4	43	25,2	171
Ni	20	13,8	13	9,0	30	20,7	36	24,8	46	31,7	145
Y	14	12,4	32	28,3	13	11,5	22	19,5	32	28,3	113
Nb	11	14,1	20	25,6	13	16,7	16	20,5	18	23,1	78
Ga	8	14,3	12	21,4	12	21,4	12	21,4	12	21,4	56
Sc	9	18,4	5	10,2	5	10,2	12	24,5	18	36,7	49
Pb	8	6,5	27	22,9	23	19,4	25	21,2	35	30,0	118
Co	2	4,5	8	18,2	12	27,3	10	22,7	12	27,3	44
Sn	2	2,2	7	7,6	7	7,6	33	35,8	43	46,8	92
С у м м а	423	10,5	784	19,4	448	11,1	996	24,6	1379	34,4	4030

ТАБЛИЦА 58

Распределение микроэлементов по гранулометрическим фракциям торфяного подзола (супесчаный), развитого на суглинистой морене

Микро-элементы	Илистая		Легкая (0,1—0,01 мм)		Легкая (0,25—0,1 мм)		Тяжелая (0,1—0,01 мм)		Тяжелая (0,25—0,1 мм)		Сумма, мг/кг
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	
Zn	152	13,5	167	14,8	60	5,3	175	15,5	572	50,9	1126
V	86	24,0	42	11,7	45	13,1	75	21,3	110	29,9	358
B	42	7,6	70	12,7	40	7,2	213	38,6	187	33,9	552
Zr	69	4,0	275	15,9	137	8,0	725	41,3	525	30,8	1731
Sr	42	7,1	90	15,2	75	12,7	213	36,0	172	29,0	592
Cu	40	17,4	37	16,1	32	14,0	55	24,0	65	28,5	229
Ni	23	18,4	29	23,2	13	10,4	24	19,2	36	28,8	125
Y	27	18,6	28	19,3	11	7,9	48	33,1	31	21,1	145
Nb	14	13,2	15	14,1	29	27,3	28	26,4	20	19,0	106
Ga	9	16,3	13	23,6	9	16,3	12	22,2	12	22,2	55
Sc	10	16,7	6	10,0	5	8,3	23	36,3	16	28,7	60
Pb	7	5,3	21	16,0	22	16,7	48	36,3	34	25,7	132
Co	3	7,1	8	19,0	8	19,0	9	21,4	14	33,5	42
Sn	2	2,4	36	43,9	6	7,3	21	25,6	17	20,8	82
С у м м а	526	9,8	837	15,7	492	9,2	1669	31,3	1811	34,0	5335

ТАБЛИЦА 59

Распределение микроэлементов по гранулометрическим фракциям неоподзоленной ожелезненной почвы, развитой на слоистых песчаных отложениях

Микро- элементы	Илистая		Легкая (0,1—0,01 мм)		Легкая (0,25—0,1 мм)		Тяжелая (0,1—0,01 мм)		Тяжелая (0,25—0,1 мм)		Сумма, мг/кг
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	
Zn	470	52,8	100	11,2	70	7,9	108	12,1	142	15,9	890
V	71	20,3	26	7,4	10	2,9	112	32,1	130	37,3	349
B	41	12,3	47	14,1	35	10,5	98	29,4	112	33,6	333
Zr	57	4,1	200	14,6	132	9,6	430	31,4	550	40,3	1369
Sr	54	11,9	75	16,5	45	9,9	122	26,7	160	35,0	456
Cu	18	12,7	30	21,1	26	18,3	32	22,5	36	25,4	142
Ni	27	16,1	12	7,2	12	7,2	56	33,5	60	36,0	167
Y	55	35,5	17	11,0	16	10,3	31	20,0	36	23,2	155
Nb	12	13,6	17	19,3	21	23,8	18	20,4	20	22,7	88
Ga	7	14,3	10	20,4	10	20,4	10	20,4	12	24,5	49
Sc	14	23,3	14	23,3	6	10,0	12	20,0	14	23,3	60
Pb	11	11,5	26	27,4	15	15,8	18	18,9	25	26,4	95
Co	8	20,0	8	20,0	8	20,0	8	20,0	8	20,0	40
Sn	6	18,7	7	21,8	5	15,6	5	18,7	8	25,2	32
Сумма	851	20,5	589	14,5	411	9,9	1061	23,2	1313	31,9	4225

ТАБ

Ассоциации ведущих микроэлементов в гранулометрических фракциях почв

Почвы	Илистая	Легкая	
		0,1—0,01 мм	0,25—0,1 мм
Дерново-подзолистая на карбонатной морене	Sc 2,35; V 1,52; Ni 1,17	Sn 1,78; Zn 1,47; Nb 1,10	—
Дерново-подзолистая на бурой карбонатной морене	V 1,79; Ni 1,16; Ga 1,11	Sn 1,71; Ga 1,11; Nb 1,10	—
Дерново-подзолистая глеевая на бескарбонатной морене	—	B 1,43; Y 1,39; Pb 1,13	Co 1,33
Торфянистый подзол (супесчаный) на суглинистой морене	—	Sn 2,25; Ga 1,18; Ni 1,16	Nb 1,38
Неоподзоленная ожелезненная на слоистых песчаных отложениях	Zn 2,64; V 1,77; Sc 1,17	Pb 1,37; Sc 1,17; Sn 1,17	—

## ГЛАВА 7

**РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ И ПОВЕДЕНИЕ  
МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА  
РСФСР**

Изучение распространенности и поведения микроэлементов в почвах Ленинградской области методом статистической обработки геохимических данных было выполнено раньше (1976 г.) и явилось первым опытом для нечерноземья. В этом разделе приводятся сведения о 12 химических элементах (молибден, медь, цинк, никель, кобальт, бор, марганец, стронций, свинец, барий, ванадий и цирконий) в 2042 пробах почв трех областей: Ленинградской, Псковской и Новгородской. Вся геохимическая информация по почвам Северо-Запада РСФСР была обработана в ИВЦ ВСЕГЕИ на «Минск-32» по специальным программам (неполиномный тренд-анализ, многократная корреляция, факторный анализ).

Данные о содержаниях изученного набора химических элементов в почвах приведены в табл. 61. Распространенность химических элементов показана в табл. 62. Относительные концентрации элементов (отношение среднего содержания элемента в данном округе к его среднему содержанию в почвах по А. П. Виноградову [13]) разделены на две группы: от 1 до 2,5 и от 2,5 до 5; микроэлементы с нижефоновыми концентрациями в таблицу не вошли.

В первой группе почти во всех почвенно-геохимических округах распространены одни и те же элементы: свинец, кобальт,

лица 60

**Северо-Запада РСФСР, развитых на различных почвообразующих породах**

Тяжелая	
0,1—0,01 мм	0,25—0,1 мм
V 1,64; Ni 1,50; Zr 1,48; Sr 1,48; B 1,48; Y 1,17; Nb 1,16; Co 1,12; Sn 1,11	Zr 2,17; Pb 1,90; Sr 1,50; Y 1,46; Cu 1,32; B 1,30; Zn 1,27; Nb 1,10
Pb 3,00; Zr 2,08; Sc 1,80; Sr 1,61; Y 1,46; Cu 1,46	Zn 2,85; Cu 2,21; B 2,06; Ni 1,74; Zr 1,67; Sr 1,44; Co 1,38; Nb 1,33; Y 1,32; Sc 1,20; V 1,15; Sn 1,14; Ga 1,11
Zn 1,83; Zr 1,50; B 1,26; Ni 1,20; Sc 1,20; Cu 1,18; Sn 1,18; V 1,12; Co 1,10	Sn 2,39; V 1,99; Zr 1,91; Sc 1,80; B 1,62; Ni 1,53; Pb 1,46; Y 1,39; Co 1,33; Sr 1,28; Cu 1,26; Nb 1,13
Zr 2,10; B 1,94; Sc 1,92; Pb 1,85; Sr 1,81; Y 1,66; Nb 1,33; Sn 1,31; Cu 1,20; Co 1,13	Zn 2,54; B 1,70; Zr 1,52; Sr 1,46; Ni 1,44; Sc 1,33; Pb 1,31; V 1,25; Co 1,17
Ni 1,70; V 1,60; Zr 1,57; B 1,46; Sr 1,34; Cu 1,14	Zr 2,00; V 1,86; Ni 1,82; Sr 1,76; B 1,67; Sn 1,33; Pb 1,32; Cu 1,29; Ga 1,20; Sc 1,17; Y 1,16; Nb 1,11

ТАБ

Среднее содержание  $C$ , стандартное отклонение  $\sigma$  и относительная кон-

Почвенно-геохимический округ	Число проб	Показатели	Mo	Cu
Среднетаежная подзона				
XII. Выборгско-Приозерский	20	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,1 0,3 0,6	38,9 63,9 1,9
XIII. Ладожско-Прионежский	51	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	0,9 0,4 0,5	49,2 97,0 2,4
Южнотаежная подзона				
I. Валдайский	286	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,2 0,9 0,6	46,4 46,2 2,3
II. Ловатско-Волховский	212	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,2 0,9 0,6	34,5 27,1 1,7
III. Псковский	271	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	2,7 2,4 1,4	44,7 97,9 2,2
IV. Ижорский	44	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,3 0,4 0,7	25,6 13,3 1,3
V. Чудский	54	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	2,3 1,9 1,1	34,2 21,8 1,7
VI. Великорецкий	163	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,8 1,3 0,9	44,7 55,2 2,2
VII. Предвалдайский	296	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,8 2,0 0,9	50,3 136,1 2,5
VIII. Лужско-Шелонский	121	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	2,7 3,3 1,3	60,4 97,3 3,0
IX. Западно-Двинский	51	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	2,8 1,6 1,4	37,5 9,7 1,9
X. Балтийско-Ладожский	38	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,1 0,4 0,5	38,3 127,7 1,9
XI. Великолукский	339	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	2,3 2,4 1,1	83,1 206,6 4,2
Южнотаежная подзона				
XIV. Молого-Шекснинский	96	$C$ , мг/кг $\sigma$ , мг/кг $C_{отн.}$ , %	1,2 0,9 0,6	45,8 31,6 2,3
Среднее содержание по А. П. Виноградову, мг/кг			2,0	20

центрация  $C_{\text{отн}}$  некоторых микроэлементов в почвах Северо-Запада РСФСР

Zn	Ni	Co	B	Mn	Sr	Pb	Ba	V	Zr
дерново-подзолистых почв $B_3$									
103,4	21,3	10,6	22,3	817,5	332,4	19,1	299,5	63,6	120,7
50,9	20,4	5,3	13,8	394,3	129,1	6,2	186,5	51,4	69,9
2,1	0,5	1,3	2,2	1,0	1,1	1,9	0,5	0,6	0,4
63,0	10,8	8,9	31,5	617,8	280,1	15,4	218,0	32,0	102,8
80,1	12,2	6,9	20,4	574,4	230,9	20,4	120,6	26,6	71,2
1,3	0,3	1,1	3,2	0,7	1,0	1,5	0,3	0,4	0,3
дерново-подзолистых почв $B_3$									
54,8	15,5	7,7	41,5	607,9	52,4	14,0	173,7	29,1	251,6
29,9	14,4	5,5	17,5	557,0	90,2	8,9	220,9	23,6	160,1
1,1	0,4	1,0	4,1	0,7	1,8	1,4	0,3	1,7	0,8
67,1	15,8	9,5	40,1	551,0	192,9	20,5	372,9	42,1	287,4
31,6	13,2	4,7	18,4	341,4	248,4	34,9	214,9	25,3	152,4
1,3	0,4	1,2	4,0	0,6	0,6	2,0	0,6	0,4	1,0
59,4	21,0	10,4	37,2	713,2	149,2	18,0	404,7	28,8	293,8
62,8	18,4	6,7	22,3	379,5	127,4	7,3	127,9	14,4	143,2
1,2	0,5	1,3	3,7	0,8	0,5	1,8	0,6	0,3	1,0
82,5	12,8	9,4	47,8	983,1	303,8	20,8	230,4	48,4	179,9
26,4	7,1	2,3	40,9	362,9	117,8	9,3	129,6	20,9	63,6
1,7	0,3	1,2	4,8	1,2	1,0	2,1	0,4	0,5	0,7
55,8	21,5	8,4	24,8	718,3	153,9	23,1	305,2	27,9	252,9
30,2	21,0	5,4	18,6	482,3	158,3	10,2	191,3	23,6	123,9
1,1	0,5	1,0	2,5	0,8	0,5	2,3	0,5	0,3	0,8
61,2	19,1	8,4	31,5	518,9	120,3	17,2	430,2	38,7	293,9
40,9	11,5	4,2	11,4	259,3	70,3	7,1	189,7	20,9	155,1
1,2	0,5	1,1	3,1	0,6	0,4	1,7	0,7	0,4	1,0
81,6	20,7	10,8	49,4	591,9	93,7	20,3	413,1	38,7	384,4
269,4	17,1	7,3	17,9	250,0	67,6	10,3	213,3	16,0	137,6
1,6	0,5	1,3	4,9	0,7	0,3	2,0	0,6	0,4	1,3
70,4	29,6	13,2	48,4	707,4	136,7	21,8	465,8	38,1	322,9
64,5	31,2	7,1	27,6	872,9	105,0	7,6	130,8	15,1	108,3
1,4	0,7	1,6	4,8	0,8	0,5	2,2	0,7	0,4	1,1
65,2	22,7	10,5	40,5	573,9	97,9	18,4	483,8	38,7	405,5
22,6	10,4	3,9	4,8	132,6	30,5	5,9	67,7	10,8	92,6
1,3	0,6	1,3	4,0	0,7	0,3	1,8	0,7	0,4	1,4
71,8	5,5	9,3	17,3	895,7	384,9	23,0	276,8	20,6	132,6
45,8	3,6	10,9	9,1	543,9	233,5	9,6	141,1	16,9	68,5
1,4	0,1	1,2	1,7	1,1	1,3	2,3	0,4	0,2	0,4
92,2	18,7	9,6	32,7	660,7	82,6	16,1	328,1	34,1	267,7
215,3	10,6	5,9	14,9	261,9	47,8	6,6	143,4	19,9	137,5
1,8	0,5	1,2	3,3	0,8	0,3	1,6	0,5	0,3	0,9
дерново-подзолистых почв $B_3$									
46,9	12,2	4,9	22,8	522,3	34,8	8,3	61,5	13,7	160,1
97,9	15,9	4,0	15,7	246,3	91,5	3,9	146,5	14,6	109,4
0,9	0,3	0,6	2,3	0,6	0,1	0,8	0,1	0,1	0,5
50	40	8	10	850	300	10	650	100	300

медь и цинк; исключение составляют округа XIII ( $B_2$ ), III, XI ( $B_{31}$ ), XIV ( $B_{32}$ ). В округах III, VI—IX распространены те же элементы: свинец, кобальт, медь, цинк, а также молибден и цирконий. Во второй группе наибольшее распространение имеют медь и бор, причем бор присутствует почти во всех округах.

ТАБЛИЦА 62  
Распространенность химических элементов в почвах  
Северо-Запада РСФСР

Почвенно-геохимический округ	Относительные концентрации элементов	
	1—2,5	2,5—5
<b>. Среднетаежная подзона дерново-подзолистых почв <math>B_2</math></b>		
XII. Выборгско-Приозерский	Mn, Sr, Co, Cu, Pb, Zn, B	—
XIII. Ладожско-Прионежский	Pb, Zn, Sr, Co	Cu, B
<b>Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв <math>B_{31}</math></b>		
I. Валдайский	Co, Zn, Pb, V, Sr, Cu	B
II. Ловатско-Волховский	Zr, Co, Zn, Cu	B
III. Псковский	Zr, Zn, Co, Mo, Pb, Cu	B
IV. Ижорский	Sr, Co, Mn, Cu, Zn, Pb	B
V. Чудский	Co, Mo, Zn, Cu, Pb, B	—
VI. Великорецкий	Mo, Zr, Co, Zn, Pb, Cu	B
VII. Предвалдайский	Mo, Zr, Co, Zn, Pb, Cu	B
VIII. Лужско-Шелонский	Zr, Mo, Zn, Co, Pb	Cu, B
IX. Западно-Двинский	Zn, Co, Mo, Zr, Pb, Cu	B
X. Балтийско-Ладожский	Mn, Co, Sr, Zn, B, Cu, Pb	—
XI. Великолукский	Zr, Mo, Co, Pb, Zn	B, Cu
<b>Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв <math>B_{32}</math></b>		
XIV. Молого-Шекснинский	Zn, Cu, B	—

Выделено пять геохимических типов почв: СЛХ<sub>2</sub>; ЛХ<sub>2-3</sub>; ХЛ<sub>2-3</sub>; СХЛ<sub>2-3</sub>; ЛХ<sub>3</sub>, включающих набор сидерофильных (С), лиофильных (Л) и халькофильных (Х) химических элементов. Цифровой индекс указывает на относительные концентрации элементов в почвах округа: 1 — ниже кларка, 2 — на уровне кларка, 3 — выше кларка. Одинаковый геохимический тип почв СЛХ<sub>2</sub> отмечается в кругах XII ( $B_2$ ), V, X ( $B_{31}$ ), тип ЛХ<sub>2-3</sub> — в округе XIII ( $B_2$ ); тип ХЛ<sub>2-3</sub> — в округах III, IV, VI, VII, IX ( $B_{31}$ ) и XIV ( $B_{32}$ ); тип СХЛ<sub>2-3</sub> — в округах I, II ( $B_{31}$ ); тип ЛХ<sub>3</sub> — в округах VIII и XI ( $B_{31}$ ).

Химические элементы в почвах распределены неравномерно (табл. 63).

Геохимические ассоциации и ряды подвижности элементов в почвах Северо-Запада РСФСР (табл. 64) получены с помощью метода многократной корреляции, разработанного во ВСЕГЕИ Ю. К. Бурковым [9]. В приведенных рядах стрелкой

## ТАБЛИЦА 63

Химические элементы, неравномерно распределенные в почвах  
Северо-Запада РСФСР

Почвенно-геохимический округ	Химические элементы
	Среднетаежная подзона дерново-подзолистых почв В <sub>2</sub>
XII. Выборгско-Приозерский	Cu
XIII. Ладожско-Прионежский	Cu, Zn, Co, Mo, Ni, Pb
	Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв В <sub>3</sub> <sub>1</sub>
I. Валдайский	Sr, Ba, Mn, Cu
II. Ловатско-Волховский	Sr, Pb
III. Псковский	Cu, Zn
IV. Ижорский	—
V. Чудский	Ni, Sr
VI. Великорецкий	Cu
VII. Предвалдайский	Mo, Cu, Zn
VIII. Лужско-Шелонский	Mo, Cu, Ni, Mn
IX. Западно-Двинский	—
X. Балтийско-Ладожский	Cu, Co
XI. Великолукский	Mo, Cu, Zn
	Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв В <sub>3</sub> <sub>2</sub>
XIV. Молого-Шекснинский	Zn, Ni, Sr, Ba, V

показано усиление подвижности элементов слева направо; кроме того, стрелка разделяет элементы на ассоциации. Геохимические ассоциации элементов в каждой из рассмотренных подзон носят механогенный характер.

На основе приведенных геохимических ассоциаций рассчитана подвижность для некоторых химических элементов (табл. 65). В основу положены фундаментальные представления Б. Б. Полянова [63] и Н. М. Страхова [81] о подвижности химических элементов как соотношении разных форм миграции — в растворе (хемогенный) и во взвеси (механогенный). Так как стохастическая модель, использованная для построения геохимических ассоциаций, одновременно дает представление о ряде подвижности [8], то, естественно, начало такого ряда следует считать (условно!) началом (нулем) отсчета подвижности. Соответственно подвижность 100 % приходится на последний элемент ряда [Певзнер В. С., 1981 г.].

Для бора, цинка, меди и стронция построены схемы изоподвижности (рис. 2). Области с высокой подвижностью характеризуют, как уже отмечалось, преобладание элемента в растворе (при формировании почв). Соответственно области с низкой подвижностью указывают на преобладание элемента во взвеси (или на другие формы механогенного перемещения как внутри системы, так и при ее формировании). Для бора видны две зоны

## ТАБЛИЦА 64

Геохимические ассоциации химических элементов в почвах  
Северо-Запада РСФСР

Почвенно-геохимический округ	Геохимические ассоциации элементов
	Среднетаежная подзона дерново-подзолистых почв В <sub>2</sub>
XII. Выборгско-Приозерский	Sr, Mo → Mn, Cu, Zn (Pb, Co, Zr, Ba, B, V, Ni)
XIII. Ладожско-Прионежский западная часть	(Cu, Zn, Ni, Mo) Co, Mn → V, Ba, Pb (Sr, B, Zr)
восточная часть	Zr, B → [Pb, Sr, Mo] Ba (V, Ni, Mn, Co, Zn, Cu)
	Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв В <sub>31</sub>
I. Валдайский	Mn, Pb, B → Zn, V (Sr, Ba, Zr) (Co, Cu, Mo, Ni)
II. Ловатско-Волховский	Sr, Pb → Mn (B, Cu, V, Zn, Zr) (Mo, Ba, Co, Ni)
III. Псковский	Sr, B → Pb, Mn (Zr, Ba) V, Mo (Ni, Co, Cu, Zn)
IV. Ижорский	Sr, Cu → (Ni, Mn, Co, Zn, Mo, Pb) (Ba, Zr, B, V)
V. Чудский	Mo, Cu (Ni, Co) (Mn, Sr, Zn) Pb, V → Zn, Ba, B
VI. Великорецкий	Cu, Zn → Mn, Mo (B, Ba, Zr, Sr) (Ni, Co) V, Pb
VII. Предвалдайский	B, Pb → V, Mn, Mo (Ni, Co) (Zr, Ba, Sr) (Cu, Zn)
VIII. Лужско-Шелонский	Cu (Co, Ni, Mo) Mn, Sr → Zn, Ba (B, V, Zr, Pb)
IX. Западно-Двинский	(Ni, Cu, Co, Mo) (Mn, Zn, Sr, V, Pb, B) Ba → Zr
X. Балтийско-Ладожский	(Zn, Cu) (Ni, V, Co, Mo) Sr, Mn → Pb, B (Ba, Zr)
XI. Великолукский	(Zn, Cu) → Co, Ni, Mo, Sr, Pb, Mn, V, B (Zr, Ba)
	Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв В <sub>32</sub>
XIV. Молого-Шекснинский	(Ni, Cu, Mo) (Co, Zr, V, B, Mn, Sr, Pb) Ba → Zn
Общая геохимическая ассоциация по Северо-Западу РСФСР	V, Sr, Pb, B → Mn (Co, Mo, Ni) (Ba, Zr, Cu, Zn)

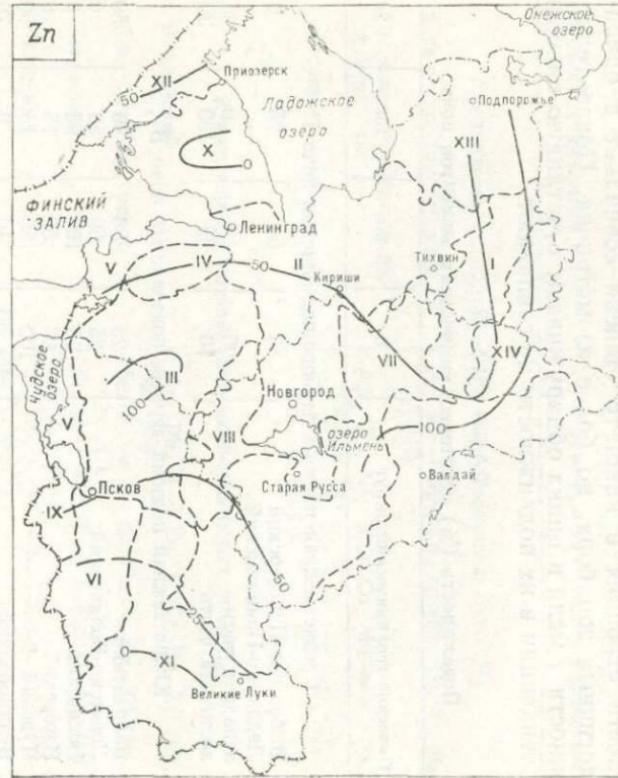
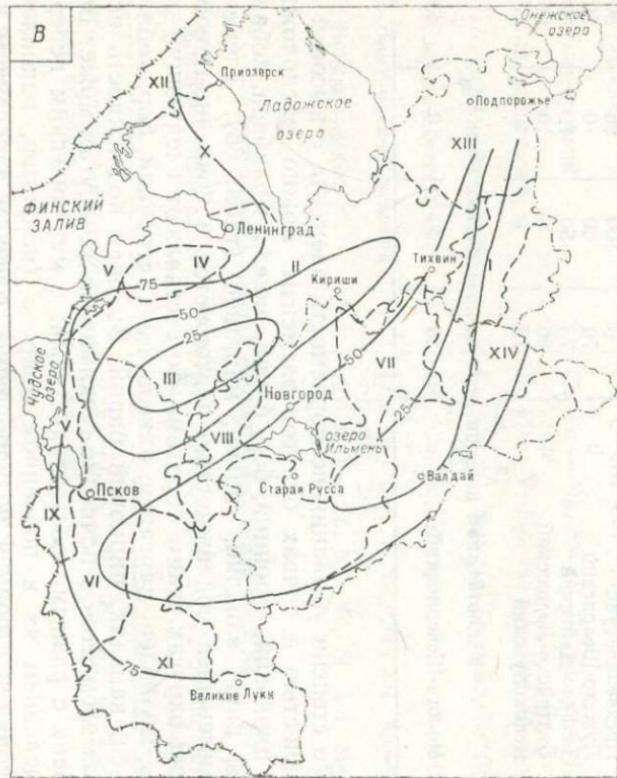
Примечание. Скобками обозначены положительные корреляционные связи между химическими элементами: ( ) — наиболее высокие, ( ) — средние, [ ] — слабые; без скобок — очень слабые; стрелка показывает усиление подвижности элементов.

с минимальной подвижностью — к северо-западу и к юго-востоку от оз. Ильмень. Общий вектор возрастания подвижности направлен на северо-запад и восток. Зона минимальной подвижности стронция в какой-то степени совпадает с одной из аналогичных зон бора, но более изометрична. Показатели подвижности у меди и цинка обнаруживают отчетливую инверсию, т. е. тенденции в их подвижности не совпадают.

ТАБЛИЦА 65  
Подвижность (%) некоторых химических элементов почв

Почвенно-геохимический округ	B	Zn	Cu	Sr
Среднетаежная подзона дерново-подзолистых почв B <sub>2</sub>				
XII. Выборгско-Приозерский	80	60	25	0
XIII. Ладожско-Прионежский				
западная часть	95	10	0	85
восточная часть	10	95	100	30
Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв B <sub>31</sub>				
I. Валдайский	25	30	90	50
II. Ловатско-Волховский	35	60	50	0
III. Псковский	15	100	95	0
IV. Ижорский	95	50	15	0
V. Чудский	100	55	15	50
VI. Великорецкий	45—50	10	0	70
VII. Предвалдайский	0	100	95	80
VIII. Лужско-Шелонский	70	60	0	50
IX. Западно-Двинский	75	50	10	60
X. Балтийско-Ладожский	80	0	10	55
XI. Великолукский	75	0	10	55
Южнотаежная подзона дерново-подзолистых почв B <sub>32</sub>				
XIV. Молого-Шекснинский	50	100	10	80

По степени убывания повторяемости элемента с высокой подвижностью в почвах округов элементы можно расположить так: цирконий, стронций, бор, барий, никель, молибден, кобальт, медь, цинк, ванадий, свинец, марганец (табл. 66). Элементы с наименьшей подвижностью повторяются в почвенно-геохимических округах таким образом, что составляют следующий ряд: медь, молибден, марганец, никель, цинк, стронций, бор, кобальт, свинец, ванадий, цирконий барий. Высокая подвижность некоторых элементов в почвенно-геохимических округах может быть связана с разными обстоятельствами: с механическим перераспределением их в почвенном покрове (например, накопление циркона и стронция из удобрений), близким залеганием карбонатных пород (округа IV, V) и близостью водных бассейнов [округа XII, XIII (B<sub>2</sub>); II, IV, V (B<sub>31</sub>)].



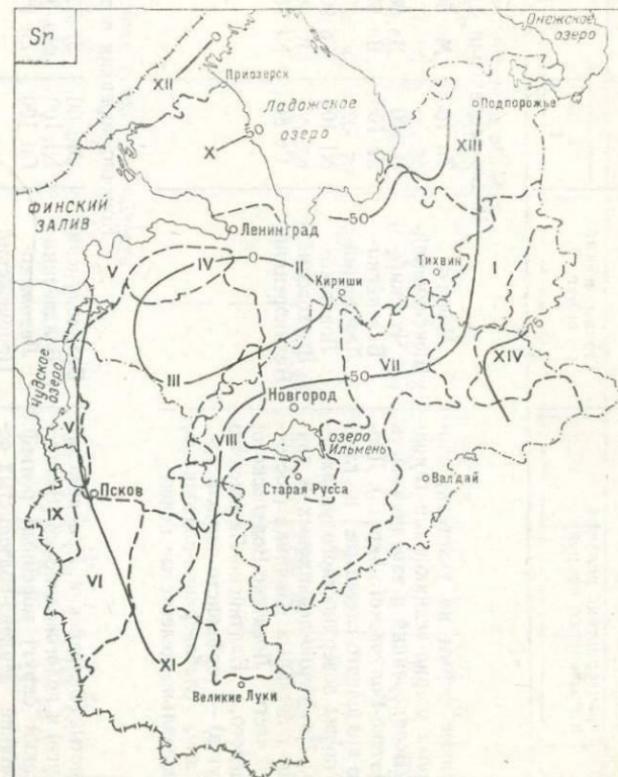
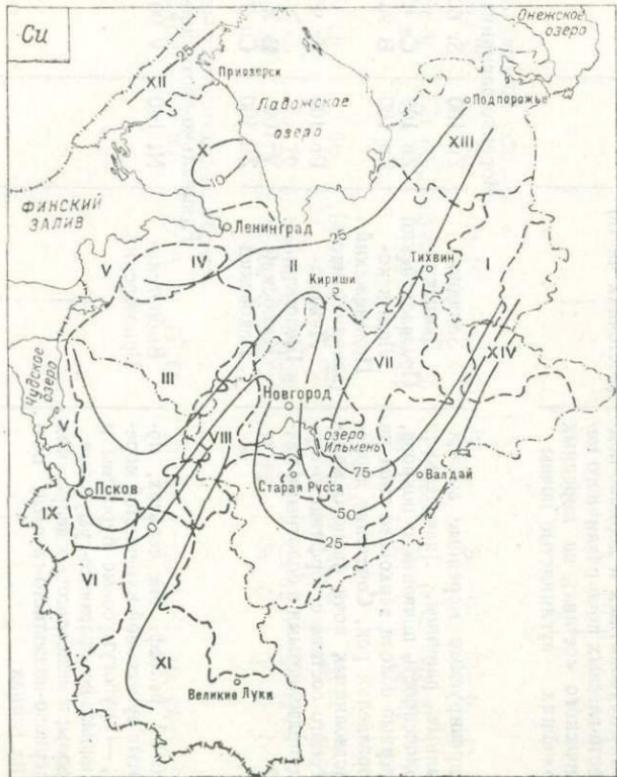


Рис. 2. Схемы изоподвижности (%) бора, цинка, меди и стронция в почвах Северо-Запада РСФСР.

## Геохимические ряды подвижности микроэлементов в зависимости

Характеристика рельефа и почвенного покрова	Геохимический округ		
		1	2
Водно-ледниковая озер			
Равнинные формы на участках, сложенных озерно-ледниковыми глинами (Великорецкий и западная часть Ловатско-Волховского округа). Дерново-подзолисто-глеевые почвы поверхности увлажнения. На озерно-ледниковых и занесенных песчаных равнинах (восточная часть Ловатско-Волховского, Чудского, Балтийско-Ладожского округов) — торфянисто-подзолисто-глеевые, слабодерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы	МологоШекснинский Чудский Балтийско-Ладожский Ловатско-Волховский Великорецкий	Zn 100 B 100 Zr 100 Ni 100 Co 80	Mo 50 Ba 95 Ba 95 Co 90 Ni 75
Конечно-моренная возвы			
Холмистый (Валдайский, Прионежский округ) и пологоволнистый (Великолукский округ) моренный рельеф. Сочетание дерново-подзолистых осстаточно-карбонатных и дерново-подзолисто-глеевых почв различного механического состава; на моренных отложениях — суглинистые почвы	Великолукский Валдайский Ладожско-Прионежский (восточная часть)	Mo 60 Ni 100 Cu 100	Sr 55 Mo 95 Zn 95
Моренно-равнинная			
Слабодренируемые моренные абраидированные равнины. Значительная заболоченность почвенного покрова, обширные болота верхового типа на водоразделах рек. Сочетание дерново-подзолистых почв разного механического состава с торфянисто-торфяно-подзолистыми и болотными почвами	Западно-Двинский Предвалдайский Ладожско-Прионежский (западная часть) Лужско-Шелонский Ижорский Псковский	Zn 100 Zn 100 Zn 100 Pb 100 V 100 Zn 100	Sr 60 Cu 95 B 95 Zr 95 B 95 Cu 95
Гляциально-эрзационно-ци			
Сельговый рельеф. На сельгах, покрытых супесчаной каменистой мореной, — грубогумусовые буровоземы и иллювиально-железисто-гумусовые подзолы; в межсельговых депрессиях — дерново-подзолисто-глеевые почвы на глинах	Выборгско-Приозерский	Ni 100	V 90

П р и м е ч а н и е. Рядом с символом химического элемента приведена его подвижность элементов, расположенных слева от двойной линии, характерен процесс рассеяния,

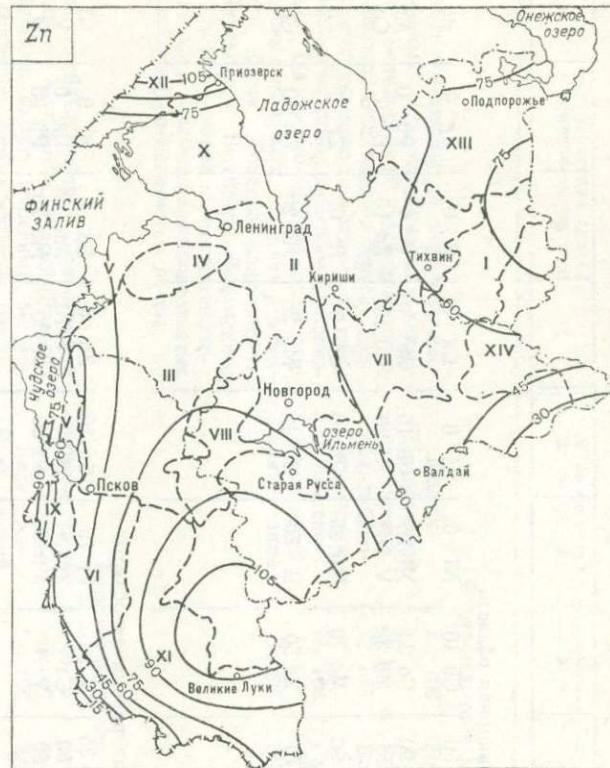
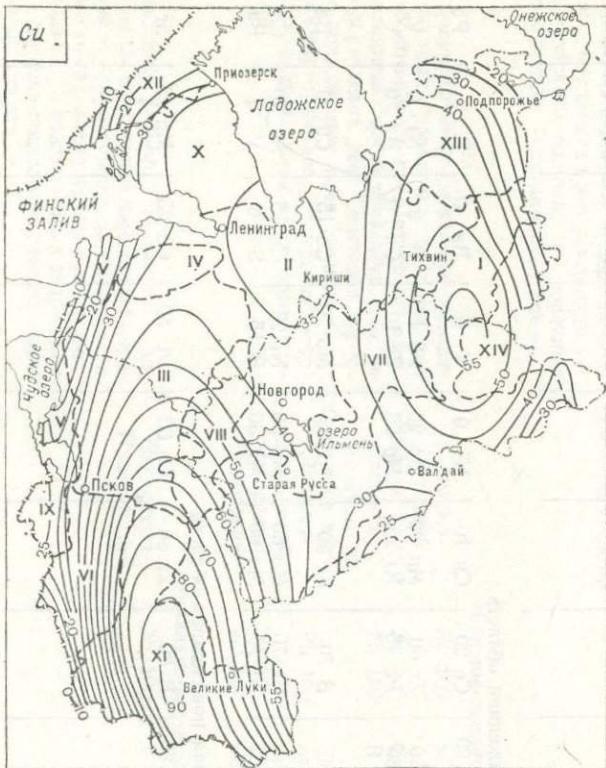
## ЛИЦА 66

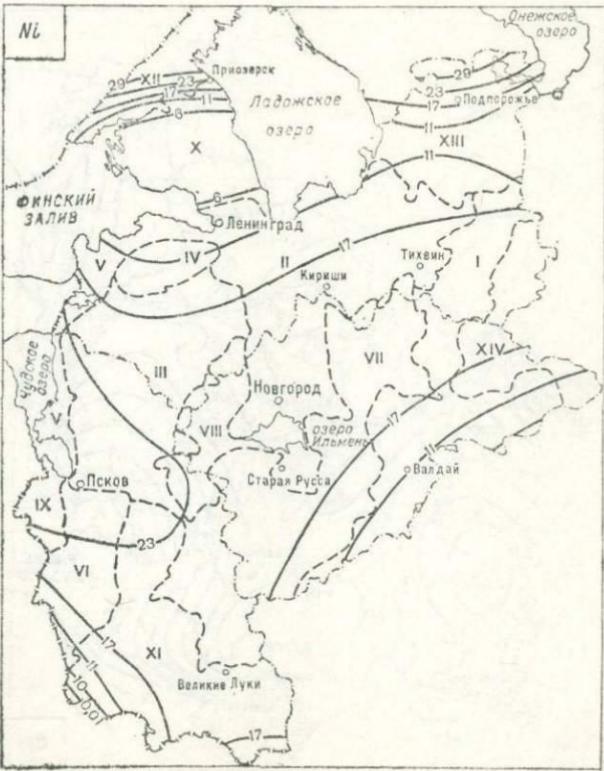
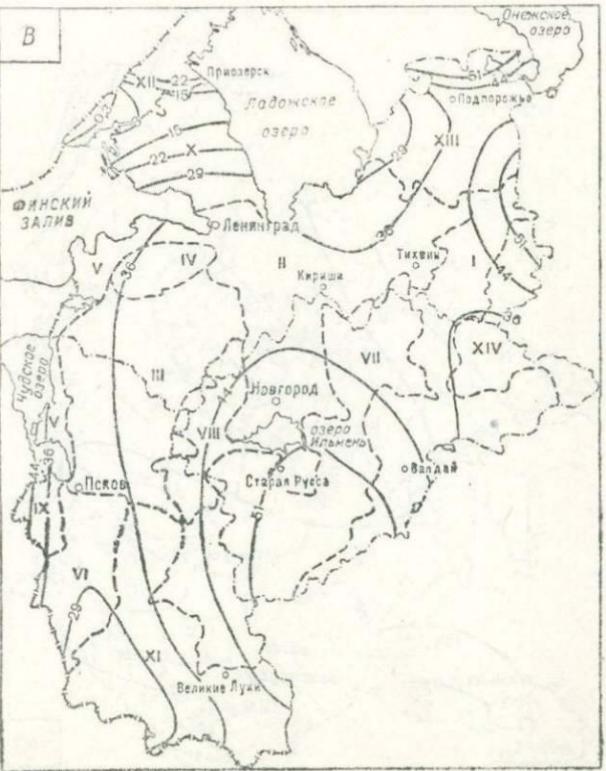
от ландшафтно-геохимической обстановки и почвенного покрова

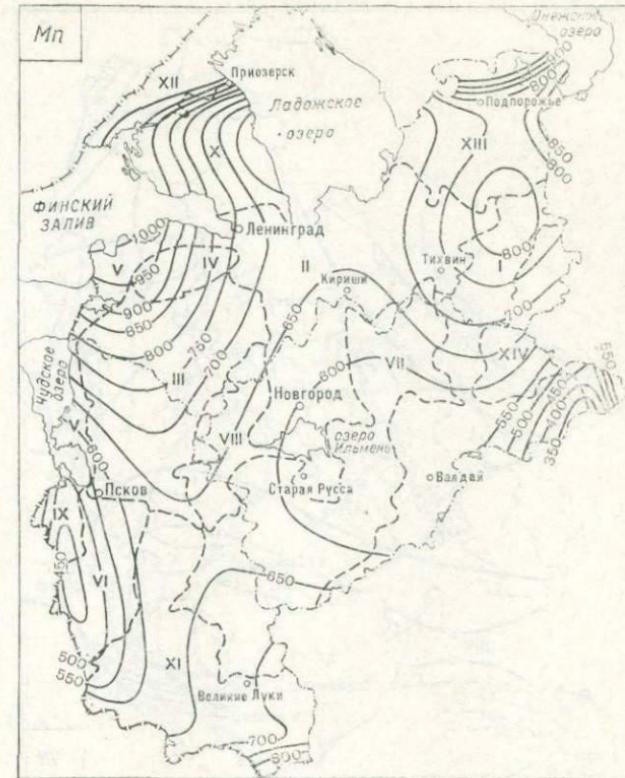
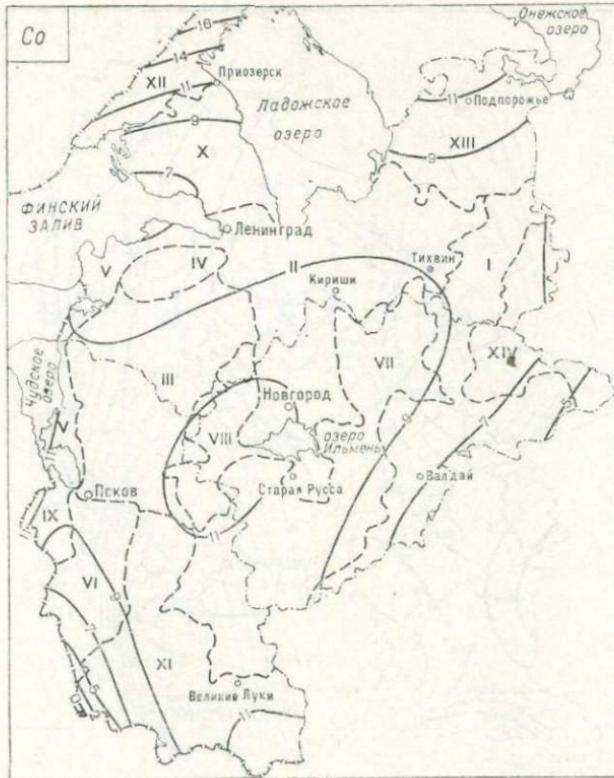
Место элемента в геохимическом ряду подвижности

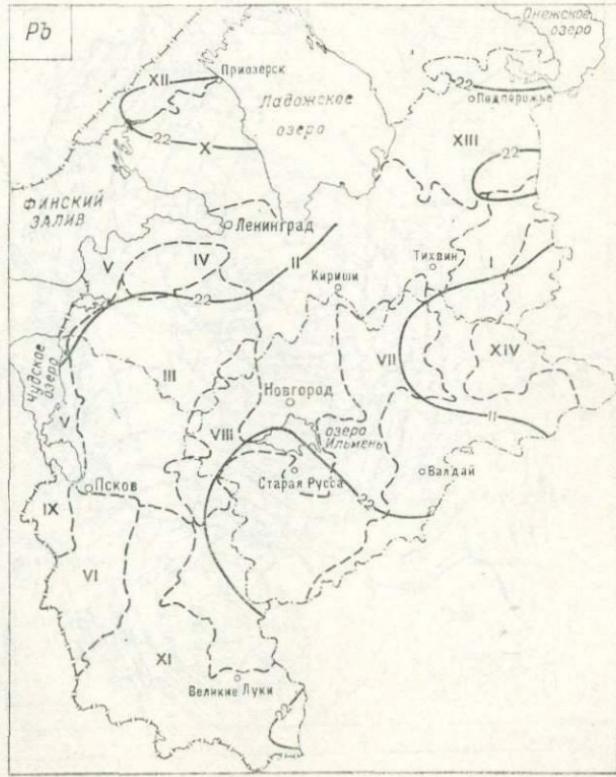
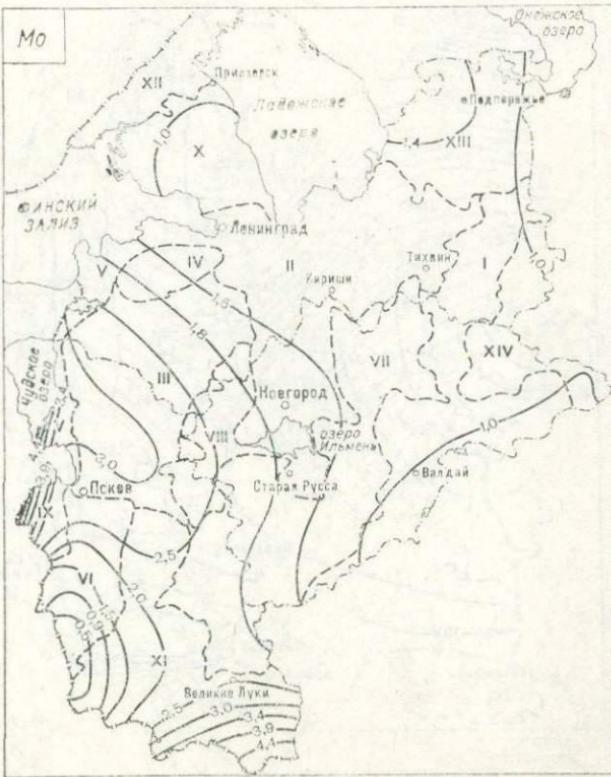
3	4	5	6	7	8	9	10
<b>но-равнинная область</b>							
Co 30	Cu 10	Ni 0	V 0	Ba 0	B 0	Zr 0	Pb 0
Zn 90	Co 30	Ni 25	Cu 15	Mo 0	V 0	Pb 0	Mn 0
Sr 55	Mo 30	V 25	Ni 20	Cu 10	Zn 10	B 0	Co 0
Ba 90	Mo 70	Mn 25	Pb 10	Sr 0	B 0	Zr 0	Zn
Sr 70	Zr 50	B 50	Ba 45	Mn 25	Mo 20	Zn 10	Cu 0
<b>шленная равнинная область</b>							
Mn 35	V 25	Zr 15	Cu 10	Zn 0	Ba 0	B 0	Ni 0
Cu 80	Co 75	Zn 30	B 25	Pb 10	Mn 0	Ba 0	V 0
Co 80	V 70	Mn 70	Ni 60	Sr 30	Mo 25	Pb 25	B 20
<b>пониженная область</b>							
Mo 20	Co 20	Cu 10	Ni 0	V 0	Ba 0	B 0	Pb 0
Sr 80	Zr 60	Mn 30	Mo 25	Pb 15	B 0	Ni 0	V 0
Sr 85	Pb 75	Ni 25	Mo 20	Zr 10	Cu 0	Ba 0	V 0
V 85	B 70	Sr 50	Ni 25	Mo 20	Co 15	Cu 0	Ba 0
Zr 85	Ba 70	Mo 60	Mn 30	Ni 25	Cu 15	Sr 0	Co 0
Co 80	Ni 75	Mo 60	Mn 30	B 15	Sr 0	V 0	Ba 0
<b>кольцевая пониженная область</b>							
Ba 85	B 80	Zr 80	Co 60	Pb 50	Cu 25	Mn 25	Sr 0

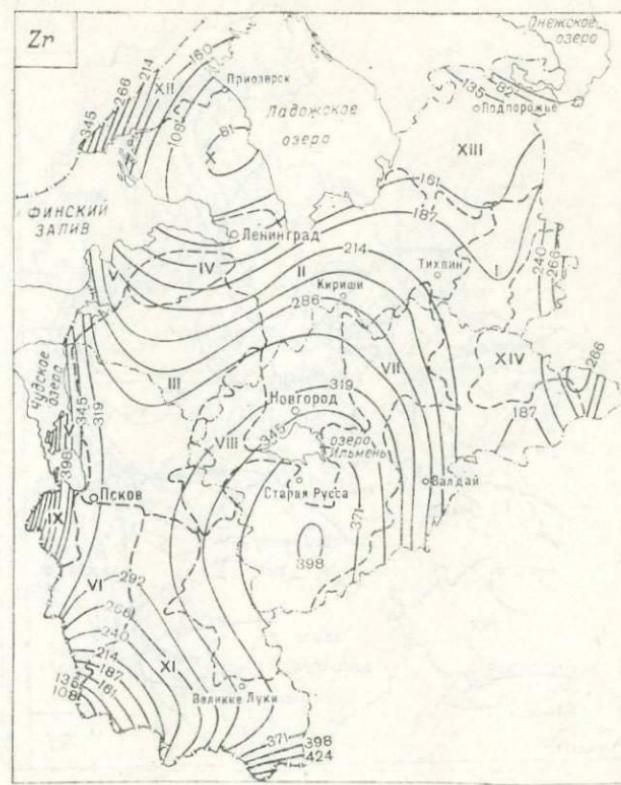
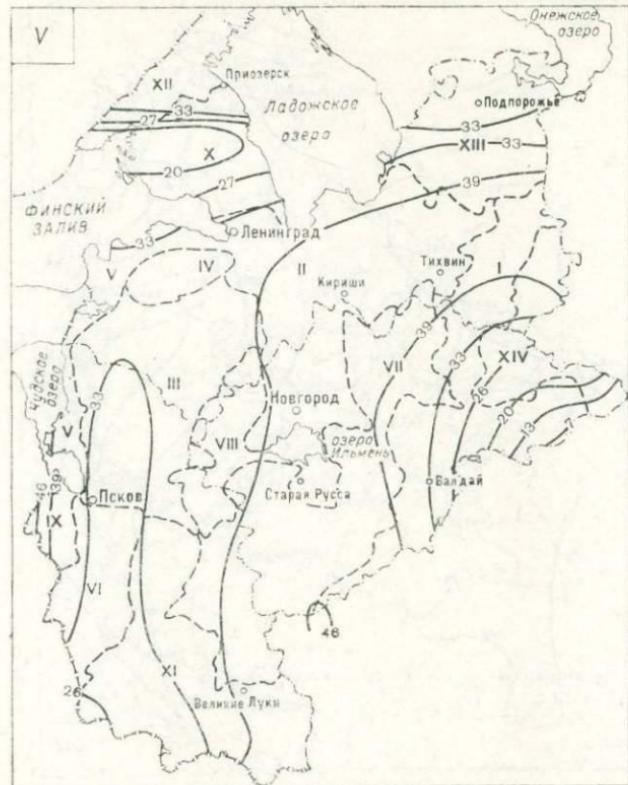
ность (%); в геохимическом ряду подвижность изменяется от большей к меньшей; для справа — накопления.











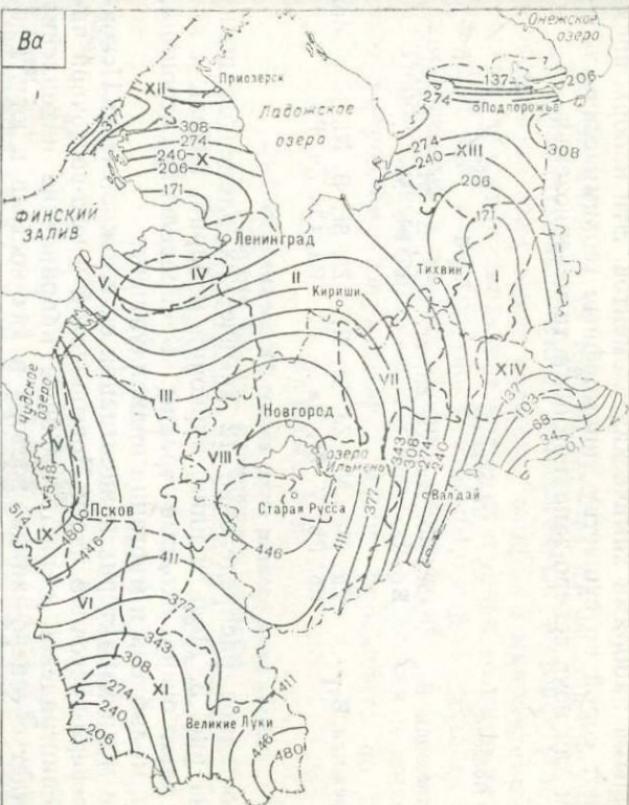
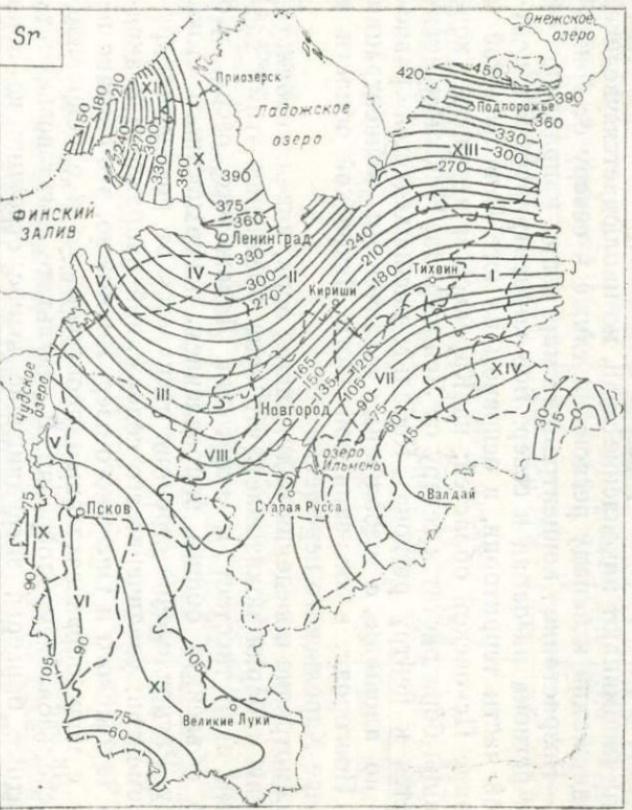


Рис. 3. Схемы распределения химических элементов (мг/кг) в почвах Северо-Запада РСФСР.

Из анализа геохимических данных установлены области вероятного накопления и обеднения почв Северо-Запада РСФСР различными наборами химических элементов. Эти наборы представляют собой по существу типоморфные геохимические ассоциации для почв северо-западной области нечерноземья.

Подзона	Накопление	Обеднение
Среднетаежная $B_2$	Cu, Mo, Mn, Ni, Zn, Sr, B, Pb	Sr, B, Ni, C, Cu, Zn, V, Pb, Mo
Южнотаежная $B_{31}$	Cu, Mo, Ni, Zn, Sr, B, Co, Pb, V, Zr, Ba	Zr, Sr, B, Ni, Co, Mo, Ba, Cu, Zn, Pb

Площадное распределение 12 химических элементов показано на рис. 3. Медь и цинк, цирконий и барий, никель и кобальт дают очень сходные тренды. Распределения стронция, свинца, молибдена и марганца индивидуальны.

Для меди характерна концентрация ее в южной части Псковской, северо-восточной части Новгородской и юго-восточной части Ленинградской областей. Общее направление накопления меди идет с северо-запада, востока и юго-востока к югу. Распределение цинка и концентрация его в южной части Псковской области напоминают накопление меди, но наблюдается увеличение содержаний к западу региона, а также к северу от Ленинграда. Возрастание концентраций марганца направлено от центра региона на запад и север. Бор концентрируется в центральной части территории, в основном на юге Новгородской и на западе Псковской областей; на Карельском перешейке концентрация бора растет к северу от Ленинграда. Никель концентрируется к центру региона. Кобальт распределается равномерно по площади с небольшим увеличением концентрации около Новгорода, в юго-западной части Псковской области и на севере Карельского перешейка.

Рассмотрение поведения меди, цинка, бора, никеля, кобальта, циркония и бария показывает, что зона обеднения этими элементами явно тяготеет к акватории Ладожского озера, что можно объяснить общим направлением поверхностного стока к озеру. Распределение стронция отличается от поведения других элементов: увеличение его содержаний направлено к акватории Ладожского и Онежского озер. Возможно, это связано не только с почвообразовательным процессом, но и с неправильным использованием удобрений. В результате могут возникнуть сульфатные барьеры, затрудняющие вынос стронция из почв нечерноземья.

## ГЛАВА 8

### МИКРОЭЛЕМЕНТЫ ТОРФЯНО-БОЛОТНЫХ ПОЧВ

Минеральная часть торфов состоит из их собственной золы и минеральных включений, привнесенных в торф (табл. 67). Собственная зора торфа содержит макро- и микроэлементы. Ее состав зависит от характера водно-минерального питания (атмосферный или поверхностно-грунтовый), пород области сноса, климатических и геоморфологических условий.

**Породы областей сноса.** Их влияние на состав и концентрацию микроэлементов в торфах можно проследить по данным

ТАБЛИЦА 67  
Средний химический состав зоры разного вида торфов  
(болото Чистик, Калининская область)

Торф	Число определений	A <sup>c</sup> , %	Содержание, %						
			CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	SiO <sub>2</sub>	
Верховая залежь									
Фускум	4	2,9	18,6	8,6	16,5	3,5	9,6	43,2	
Пушицево-сфагновый	6	1,5	25,6	7,1	12,4	4,5	18,9	31,5	
Медиум	8	2,2	15,1	5,5	11,7	4,5	9,0	54,2	
Пушицевый	6	2,5	26,1	12,4	21,9	4,0	17,1	18,5	
Шейхцериево-сфагновый	4	2,2	33,6	8,4	3,7	0,9	20,5	45,7	
Среднее		2,3	24,0	8,4	13,2	3,5	15,0	35,6	
Переходная залежь									
Осоково-сфагновый	3	3,7	25,3	12,5	10,8	3,5	14,8	35,9	
Сфагновый	4	4,5	34,4	14,5	2,2	2,2	6,7	34,8	
Среднее		4,1	30,0	13,5	6,5	2,8	10,8	35,4	
Низинная залежь									
Осоковый	3	10,4	26,6	21,3	8,5	2,0	10,5	31,1	
Гипновый	5	6,9	45,5	20,4	12,1	1,7	11,7	8,6	
Древесный	8	6,5	37,1	11,2	12,4	1,2	8,0	30,1	
Древесно-травяной	10	10,2	32,1	13,1	8,8	1,6	7,2	37,2	
Среднее		8,5	35,3	16,0	10,4	1,6	9,3	27,4	

табл. 68. Как и следовало ожидать, в тех случаях, когда областью сноса являлись ультраосновные породы с медно-никелевым оруднением, в составе торфа типичные для ультраосновных и основных пород микроэлементы занимают 84,3 %. Если область сноса представлена плагиоклазовыми гранитами, кварцитами, песчаниками, конгломератами протерозойского возраста, в торфе устанавливается минимальное содержание микро-

ТАБЛИЦА 68

Содержание микроэлементов (мг/кг) в торфяных месторождениях в зависимости от характера пород обрамления

Место- рождение	Породы обрамления	I группа — микроэлементы, типичные для ультраосновных и основных пород								
		As, %	V	Cr	Co	Ni	Zn	Cu	Сумма мг/кг	%
Горное Костомук- шское Соколье	Ультраосновные с медно-никелевым оруденением Плагиоклазовые граниты, кварциты, песчаники, конгломераты протерозойского возраста Глины, песчаники и известняки кембрийского воз- раста; четвертичные морены	15,3 4,5	19,8 11,0	6,2 2,0	3,7 0,8	54,6 1,8	2,4 0,9	12,0 4,5	98,7 21,0	84,3 40,6
		5,4	1,0	8,4	0,3	6,8	27,7	6,0	50,2	46,5

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Место- рождение	Породы обрамления	II группа — микроэлементы, типичные для кислых пород						
		Be	Mo	Pb	Sn	Сумма мг/кг	%	
Горное Костомук- шское Соколье	Ультраосновные с медно-никелевым оруденением Плагиоклазовые граниты, кварциты, песчаники, конгломераты протерозойского возраста Глины, песчаники и известняки кембрийского воз- раста; четвертичные морены	0,2 4,5	0,5 0,3	0,6 0,5	0,02 0,02	1,3 5,3	1,1 10,3	
		1,1	0,2	3,9	1,9	7,1	6,6	

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Место- рождение	Породы обрамления	III группа — микроэлементы, типичные для щелочных пород							Общая сумма	
		Ag	Zr	Y	Yb	La	Nb	Сумма мг/кг		
Горное Костомук- шское Соколье	Ультраосновные с медно-никелевым оруденением Плагиоклазовые граниты, кварциты, песчаники, конгломераты протерозойского возраста Глины, песчаники и известняки кембрийского воз- раста; четвертичные морены	— —	8,7 1,8	2,5 14,9	0,2 0,2	5,6 8,5	0,1 —	17,1 25,4	14,6 49,1	117,1 51,7
		0,2	36,8	11,0	0,9	1,7	—	50,6	46,9	107,9

элементов (51,7 мг/кг) с преобладанием микроэлементов III (49,1 %) и I (40,6 %) групп. Область сноса, сложенная осадочными породами, поставляет примерно одинаковое количество микроэлементов I и III групп.

**Залегание торфяника.** Расположение торфяников отличается большим разнообразием. Они встречаются на водораздельных площадях, занимают впадины и озерные котловины холмисто-моренного рельефа, размещаются на террасах рек, в их поймах и дельтах, в ложбинах стока, на склонах возвышенностей и седловинах, а в ряде случаев охватывают резко меняющиеся геоморфологические элементы ландшафта. Существует ряд классификаций торфяных залежей; например, выделяются торфяные месторождения с ледниковым рельефом. К ним принадлежит Мещерская низменность; содержание микроэлементов в ее торфяных месторождениях зависит от геоморфологической обстановки (табл. 69). Месторождения пойм содержат максимальные концентрации микроэлементов, водоразделов — минимальные.

Содержание микроэлементов в месторождениях районов с типичным горным рельефом зависит от генетического типа месторождения (табл. 70). Максимальная концентрация устанавливается в торфах межгорных понижений (106,10 мг/кг), минимальная — в торфах горных склонов (30,50 мг/кг).

**Водно-минеральное питание.** Торфяники по этому признаку разделяются на три типа: 1) торфяники верхового типа питаются в основном водами атмосферных осадков и поэтому бедны минеральными солями; 2) торфяники переходного типа имеют умеренное минеральное питание, в них поступают воды как атмосферных осадков, так и поверхностные и грунтовые; 3) торфяники низинного типа отличаются обильным водно-минеральным питанием, причем при поверхностном питании они больше обогащены минеральными солями, чем при грунтовом.

**Климатическая зональность.** От нее зависят в первую очередь температура и степень кислотности. Показатель pH падает с понижением температуры (например, в арктических областях).

А. Е. Ферсман [84, 85] указывает на следующие основные черты геохимической зональности: а) направление почвенных растворов сверху вниз во влажных областях и снизу вверх в сухих пустынных; б) смена значений pH: слабокислые условия — в таежно-лесных влажных районах, нейтральные — в средневлажном климате, щелочные — в сухих пустынных областях; в) изменения в количестве воды и концентрации растворов: слабые концентрации — в приполярных областях, рассолы — в условиях пустынь; г) различие в судьбе гумуса и продуктов гниения или окисления: гумус — в таежных условиях, сгорание до углекислого газа — в пустынях; д) разное соотношение скоростей механического и химического разрушения; е) колебания инсоляции: постоянные температуры около 0 °C — в областях многолетней мерзлоты, нагрев до 80 °C — в пустынях; ж) разная интенсивность механических факторов (воды, льда, ветра и др.);

ТАБ

## Среднее содержание микроэлементов (мг/кг сухого торфа) в торфяных

Генетический тип торфяного месторождения	Месторождение	Зольность, %	V	Cr	Co
Поймы	Большое Орловское	13,04	8,75	4,24	0,23
Древние террасы	Туголесский Бор	8,87	5,37	3,39	0,34
Водоразделы	Мезиновское	5,25	2,75	2,07	0,18

з) отличие биохимических факторов, скорости, масштаба и типа процессов жизни и смерти.

По площади торфяника микроэлементы распространяются также неравномерно. Они больше накапливаются на тех участках месторождения, которые расположены у подножия крутых берегов; отсюда обычно идет падение отметок как поверхности, так и минерального ложа торфяника.

**Геохимические особенности.** Для каждого торфяника характерны свои степень разложения органического вещества, показатели pH и Eh среды, концентрация метана, сероводорода, гуминовых кислот и т. д. В. Н. Крещатова [39] указывает на

ТАБ

## Среднее содержание микроэлементов (мг/кг сухого торфа) в тор

Генетический тип торфяного месторождения	Месторождение	Зольность, %	V	Cr	Co	Ni
Межгорные понижения	Горное Ждановское Южное	15,30 7,54	19,60 33,61	6,20 9,44	3,70 1,57	64,06 9,20
Подножия крутых воз- вышеностей	Среднее Ждановское Печенгское Обрыв	— 8,52 6,07	26,61 7,70 10,71 11,30	7,82 9,31 5,54 6,02	2,64 1,89 3,04 2,00	36,63 8,33 16,54 10,50
Горные склоны	Среднее Ждановское Восточное Долгое	— 6,90 5,35	7,30 7,57 7,65	9,90 4,61 3,13	6,96 3,39 0,86	11,79 9,34 2,84
Озерные впадины	Среднее Озерное Скальное	— 4,12 7,55	6,13 9,30 4,60	7,61 1,45 3,20	3,87 0,96 2,07	6,09 3,30 7,33
Другие обстановки	Среднее Костомушкское	—	5,84 —	6,95 11,02	2,32 2,00	1,52 0,83
						5,32 1,22

ЛИЦА 69

месторождениях различных генетических типов (Мещерская низменность)

Ni	Zn	Cu	Be	Mo	Pb	Sn	Zr	Y	La	Nb	Сумма
1,66	9,12	12,21	0,64	0,42	0,80	—	22,08	2,74	2,02	0,07	64,98
1,12	0,70	0,88	0,91	0,22	1,14	0,05	7,96	1,26	0,40	0,18	23,92
0,69	2,11	0,93	0,26	0,22	0,65	0,06	4,60	0,71	0,36	0,09	15,69

значительную вариабельность содержания микроэлементов, однако подобный характер распределения не является случайным, он отражает состав областей сноса. В табл. 71, 72 приведены содержания микроэлементов в верховых и низинных торфяниках различных геохимических провинций Европейской части СССР. При этом за основу были взяты работы В. Н. Крещатовой [39], Ф. Я. Сапрыкина и др. [75], Н. В. Кардеевой [27] и М. Н. Никонова [53].

Геохимические ряды микроэлементов (табл. 73) верховых и низинных торфяников одной и той же геохимической провинции отличаются друг от друга. Так, в верховых торфяниках Балтий-

ЛИЦА 70

фиях месторождениях различных генетических типов [75]

Zn	Cu	Be	Mo	Pb	Sn	Zr	Y	Yb	La	Nb	Сумма
1,40 8,34	12,00 12,43	0,16 0,11	0,51 0,90	0,55 0,36	0,02 0,15	8,70 4,61	2,50 1,54	0,15 0,16	5,60 4,49	0,08 —	125,23 86,91
4,87	12,22	0,14	0,71	0,46	0,08	6,65	2,02	0,16	5,05	0,04	106,10
3,50 2,38 1,09	6,51 7,84 13,30	0,32 0,11 0,23	0,21 0,15 0,05	1,01 18,10 0,51	0,18 0,10 0,08	4,90 5,40 4,50	0,54 1,27 1,77	0,01 0,10 0,90	1,33 1,93 6,31	— 0,10 —	45,73 73,31 58,54
2,32	9,22	0,22	0,14	6,54	0,12	4,93	1,19	0,33	3,19	0,04	59,19
3,31	1,54	0,15	0,39	1,01	0,13	1,42	0,12	0,14	4,26	—	37,38
0,55	3,63	0,08	0,06	0,35	0,05	2,21	0,84	0,05	1,31	—	23,61
1,92 0,56 —	2,58 2,96 21,60	0,12 0,05 0,20	0,23 0,05 0,06	0,68 0,14 0,12	0,09 0,06 0,04	1,82 1,37 4,64	0,48 0,62 2,80	0,10 0,04 0,16	2,79 0,80 3,33	— — 0,23	30,50 21,66 50,38
0,28 0,89	12,28 4,47	0,12 0,15	0,06 0,25	0,13 0,49	0,05 0,20	3,00 1,79	1,71 14,85	0,10 0,22	2,06 8,54	0,12 —	36,02 46,92

Среднее содержание микроэлементов в верховых торфяниках  
([39], переработано)

Геохимическая провинция	Область распространения торфяника
Балтийский кристаллический щит	Ленинградская, Карельская АССР
Суходо-Онежская низина	Вологодская
Моренные равнины Северо-Запада	Ленинградская, Новгородская, Псковская, Вологодская
Валдайская возвышенность	Калининская, Смоленская
Верхневолжская низменность	Калининская, Московская, Ярославская
Смоленско-Московская возвышенность	Калининская, Калужская, Смоленская
Придеснинское Полесье	Брянская, Калужская, Смоленская
Клинско-Дмитровская гряда	Владimirская, Калининская, Московская
Мещерская низменность	Московская, Владимирская, Рязанская
Низменное Заволжье	Горьковская, Костромская, Рязанская
Вятско-Камская низменность	Кировская
Предуралье	Пермская
Урал	Свердловская
Зауралье	»
Среднее (фон)	

Примечание. В числителе — содержание элемента, мг/кг; в знаменателе —

различных геохимических провинций Европейской части СССР  
Ф. Я. Сапрыкиным)

Mn	Zn	Zr	Pb	Cu	Ni	Co	Mo	Среднее значение фона
66,5	22,3	2,5	5,5	2,7	4,0	0,4	0,4	1,14
2,06	0,59	0,63	1,31	0,71	2,22	0,57	1,00	
9,1	11,2	1,6	0,2	2,3	0,8	0,5	0,4	0,47
0,28	0,30	0,40	0,05	0,61	0,44	0,71	1,00	
25,8	18,9	2,3	5,9	3,5	1,7	0,7	0,6	0,96
0,80	0,50	0,58	1,40	0,92	0,94	1,00	1,50	
20,6	8,2	6,1	0,9	1,5	0,9	0,4	0,4	0,63
0,64	0,22	1,53	0,21	0,39	0,50	0,57	1,00	
32,8	8,1	4,6	1,0	2,0	1,5	0,7	0,5	0,78
1,02	0,21	1,15	0,24	0,53	0,83	1,00	1,25	
7,1	2,5	13,0	3,4	7,7	4,7	0,3	0,2	1,24
0,22	0,07	3,25	0,81	2,03	2,61	0,43	0,50	
18,7	53,7	3,5	0,8	1,5	0,3	0,1	0,2	0,53
0,58	1,42	0,88	0,19	0,39	0,17	0,14	0,50	
14,6	1,0	0,7	1,4	2,0	0,8	0,1	0,1	0,29
0,45	0,03	0,18	0,33	0,53	0,44	0,14	0,25	
10,2	25,8	0,3	2,6	2,0	2,5	0,6	0,1	0,59
0,32	0,68	0,08	0,62	0,53	1,39	0,86	0,25	
16,4	2,8	5,9	1,1	3,7	1,4	0,4	0,3	0,67
0,51	0,07	1,48	0,26	0,97	0,78	0,57	0,75	
45,8	68,4	4,2	—	3,3	0,6	1,3	0,5	1,23
1,42	1,81	1,05	—	0,87	0,33	1,86	1,25	
38,0	167,7	5,0	26,0	8,0	2,8	1,7	0,4	2,52
1,17	4,44	1,25	6,19	2,11	1,56	2,43	1,00	
84,0	52,7	1,6	—	10,0	1,5	1,2	1,1	1,76
2,60	1,39	0,40	—	2,63	0,83	1,71	2,75	
63,0	85,8	4,0	2,1	2,8	2,0	0,7	0,5	1,23
1,95	2,29	1,00	0,50	0,74	1,11	1,00	1,25	
32,3	37,8	4,0	4,2	3,8	1,8	0,7	0,4	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

относительно фона.

Среднее содержание микроэлементов в низинных торфяниках  
([39], переработано)

Геохимическая провинция	Область распространения торфяника
Балтийский кристаллический щит	Ленинградская, Карельская АССР
Сухоно-Онежская низина	Вологодская
Моренные равнины Северо-Запада	Ленинградская, Новгородская, Псковская, Вологодская
Валдайская возвышенность	Калининская, Смоленская
Верхневолжская низменность	Калининская, Московская, Ярославская
Смоленско-Московская возвышенность	Калининская, Калужская, Смоленская
Придеснинское Полесье	Брянская, Калужская, Смоленская
Клинско-Дмитровская гряда	Владимирская, Калининская, Московская
Мещерская низменность	Московская, Владимирская, Рязанская
Низменное Заволжье	Горьковская, Костромская, Владимирская
Вятско-Камская низменность	Кировская
Предуралье	Пермская
Урал	Свердловская
Зауралье	»
Среднее (фон)	

Примечание. В числителе — содержание элемента, мг/кг; в знаменателе —

различных геохимических провинций Европейской части СССР

Ф. Я. Сапрыкиным)

Mn	Zn	Zr	Pb	Cu	Ni	Co	Mo	Среднее значение фона
282,0	23,2	15,3	5,9	5,7	4,3	2,1	1,3	1,17
1,38	1,21	1,03	1,90	0,68	0,62	1,24	1,30	
138,6	29,6	3,4	0,1	4,8	3,4	1,1	0,7	0,61
0,68	1,54	0,23	0,03	0,57	0,49	0,65	0,70	
215,0	17,0	5,5	5,2	24,9	3,2	1,0	1,3	1,16
1,05	0,89	0,38	1,68	2,96	0,46	0,59	1,30	
151,0	12,9	19,7	2,8	9,0	3,2	1,2	1,4	0,91
0,74	0,67	1,32	0,90	1,07	0,46	0,71	1,40	
205,0	10,9	6,4	2,3	4,8	7,0	0,7	0,5	0,65
1,00	0,57	0,43	0,74	0,57	1,01	0,41	0,50	
161,0	15,1	32,8	4,1	10,8	7,4	1,0	1,3	1,17
0,79	0,79	2,20	1,32	1,29	1,07	0,59	1,30	
295,0	13,4	36,9	3,5	7,2	7,2	0,6	0,5	1,06
1,45	0,70	2,48	1,13	0,86	1,04	0,35	0,50	
126,0	11,5	20,2	3,7	6,2	11,9	0,8	0,9	0,95
0,62	0,60	1,36	1,19	0,74	1,72	0,47	0,90	
98,0	29,4	15,1	2,9	6,2	4,9	1,6	0,7	0,88
0,48	1,53	1,01	0,94	0,74	0,71	0,94	0,70	
145,0	14,6	12,3	0,8	9,9	6,7	1,4	1,0	0,82
0,71	0,76	0,83	0,26	1,18	0,97	0,82	1,00	
187,7	18,7	9,6	1,2	6,2	13,9	2,8	1,3	1,08
0,92	0,97	0,64	0,39	0,74	2,01	1,64	1,30	
354,0	25,4	9,0	2,5	7,1	7,9	4,6	1,1	1,28
1,73	1,32	0,60	0,81	0,85	1,14	2,71	1,10	
285,0	22,9	8,1	4,8	6,4	9,1	2,6	1,1	1,17
1,40	1,19	0,54	1,55	0,76	1,32	1,52	1,10	
214,0	24,0	14,9	3,4	8,5	6,8	1,7	1,0	1,05
1,05	1,25	1,00	1,10	1,01	0,99	1,00	1,00	
204,1	19,2	14,9	3,1	8,4	6,9	1,7	1,0	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	

относительно фона.

ского кристаллического щита геохимический ряд возглавляет никель, который не является ведущим микроэлементом в низинных торфяниках. По количеству ведущих микроэлементов и по их концентрациям выделяются верховые и низинные торфяники Балтийского кристаллического щита и группа месторождений торфа, приуроченная к Предуралю, Уралу и Вятско-Камской провинции. При этом большое сходство в составе ведущих микроэлементов наблюдается у низинных торфяников. Бедны микроэлементами низинные торфяники тех геохимических провинций (Сухоно-Онежская низина, Верхневолжская низменность), где областями сноса были в основном осадочные породы. Общее содержание микроэлементов значительно выше в торфяниках низинного типа.

Среднее содержание подвижных форм некоторых микроэлементов, важных для жизнедеятельности растений, в торфяниках различных областей СССР показано в табл. 74, 75. Максимальное содержание подвижных форм приходится на бор (52,6 %), особенно в слое от 0 до 50 см (68,6 %). Следующим идет марганец (36,0 %), который, в противоположность бору, обладает

ТАБЛИЦА 73

Ведущие микроэлементы низинных и верховых торфяников различных геохимических провинций Европейской части СССР

Геохимическая провинция	Низинный торф	Верховой торф
Балтийский кристаллический щит	Pb 1,90; Mn 1,38; Mo 1,30; Co 1,24; Zn 1,21	Ni 2,22; Mn 2,06; Pb 1,31
Сухоно-Онежская низина	Zn 1,54	—
Моренные равнины Северо-Запада	Cu 1,96; Pb 1,68; Mo 1,30	Mo 1,50; Pb 1,40
Валдайская возвышенность	Mo 1,40; Zr 1,32	Zr 1,53
Верхневолжская низменность	—	Mo 1,25; Zr 1,15
Смоленско-Московская возвышенность	Zr 2,20; Pb 1,32; Mo 1,30; Cu 1,29	Zr 3,25; Ni 2,61; Cu 2,03
Придеснинское Полесье	Zr 2,48; Mn 1,45; Pb 1,13	Zn 1,42
Клинско-Дмитровская гряда	Ni 1,72; Zr 1,36; Pb 1,19	—
Мещерская низменность	Zn 1,53	Ni 1,39
Низменное Заволжье	Cu 1,18	Zr 1,48
Вятско-Камская низменность	Ni 2,01; Co 1,64; Mo 1,30	Co 1,86; Zn 1,81; Mn 1,42; Mo 1,25
Предуралье	Co 2,71; Mn 1,73; Zn 1,32; Ni 1,14	Pb 6,19; Zn 4,44; Co 2,43; Cu 2,11; Ni 1,56; Zr 1,25; Mn 1,17
Урал	Pb 1,56; Co 1,52; Mn 1,40; Ni 1,32; Zn 1,19	Mo 2,75; Cu 2,63; Mn 2,60; Co 1,71; Zn 1,39
Зауралье	Zn 1,25	Zn 2,29; Mn 1,95; Mo 1,25; Ni 1,11

большой подвижностью в более глубоких горизонтах (40,0%). Кобальт имеет максимальную подвижность в слое 0—50 см (41,3%) и минимальную (3,7%) — в нижележащих слоях. Это относится и к меди, обладающей подвижностью соответственно 23 и 14%. Цинк и молибден имеют меньшую подвижность в верхнем слое торфяной залежи (соответственно 6,3 и 12,6%), чем в более глубоких слоях (13,2 и 14,0%).

Следует отметить, что подвижность изученных микроэлементов неодинакова для различных областей Европейской части СССР. В разрезе всей торфяной залежи максимальная подвижность марганца устанавливается для Горьковской области (75,8%), минимальная — для Ленинградской (20,4%) и Вологодской (19,5%); цинк имеет максимальную подвижность в торфяниках Кировской области (28,5%), минимальную — Ярославской (1,7%); бор обладает максимальной подвижностью в Кировской области (97,0%), минимальной — в Смоленской (40,3%). Такое резкое колебание в подвижности микроэлементов связано, по-видимому, со степенью разложения торфа, количеством гуминовых и фульвокислот, с гидрогеологической и геохимической обстановками. Возможно, низкое содержание подвижных форм обусловлено повышенной проточностью торфяников и выносом микроэлементов за пределы торфяной залежи.

Поведение микроэлементов в условиях торфяно-болотных почв можно проследить по присутствию их в торфяных водах. Воды торфяных болот почти всегда имеют кислую реакцию, что связано с разложением растительного материала и с образованием гумусовых кислот, количеством которых в свободном состоянии определяется кислотность водной среды торфяника. Кислотность водной среды зависит еще и от характера водно-минерального питания (табл. 76). В торфяниках верхового типа, имеющих минимальную зольность, наблюдается самая кислая среда (наиболее низкие показания pH). По мере увеличения зольности снижается кислотность, и в торфяниках низинного типа при зольности 50% воды становятся нейтральными ( $pH=7$ ). Следовательно, чем больше в торфяных водах минеральных солей, способных нейтрализовать свободные гумусовые кислоты, тем меньше кислотность среды.

Щелочные и щелочноземельные элементы (натрий, калий и др.) образуют довольно подвижные соли комплексных органоминеральных соединений, в то время как такие элементы, как кальций и алюминий, дают малоподвижные и нерастворимые в условиях средних значений pH соли. Исследования А. Ф. Кулачковой верховых и низинных торфяников действительно показали, что в условиях верховых торфяников, где водно-минеральное питание осуществляется атмосферными водами, торфяные воды имеют весьма низкое значение pH (2,8—3,6). При этом наблюдается высокая миграция микроэлементов, которые перемещаются в составе гуминовых кислот и особенно фульвокислот и оксикарбоновых кислот простого строения. Этому об-

## Среднее содержание подвижных форм микроэлементов

Область	Торфяная залежь					
	Mn	Zn	Cu	Co	Mo	B
Ленинградская	43,2	не опр.	0,2	0,4	0,1	1,8
	20,4		5,2	13,2	8,2	73,0
Новгородская	65,0	2,3	4,2	0,2	0,1	0,8
	45,2	11,3	3,9	39,2	27,3	42,0
Псковская	74,6	1,1	3,8	0,6	0,2	1,7
	26,0	2,4	16,0	35,3	22,0	63,0
Вологодская	19,1	2,8	1,3	0,2	0,1	1,4
	19,5	17,4	22,0	33,8	24,0	52,6
Калининская	73,8	1,2	1,0	0,5	0,1	5,8
	41,5	7,6	18,0	38,0	8,9	81,5
Ярославская	116,8	0,3	0,7	0,8	0,1	14,9
	24,9	1,7	8,0	40,7	8,6	90,8
Костромская	146,7	5,4	2,0	1,1	0,2	1,8
	52,7	26,7	17,0	46,0	10,2	53,1
Смоленская	63,7	0,7	0,9	0,4	0,1	2,8
	25,0	4,9	16,0	37,8	9,0	40,3
Московская	не определялись					
Владимирская	86,9	4,5	0,9	0,4	0,1	2,8
	54,7	20,9	17,0	30,6	11,1	—
Горьковская	111,6	3,5	0,5	1,3	0,2	1,2
	75,8	21,8	12,0	53,4	12,0	53,1
Кировская	151,8	6,3	1,8	1,3	0,1	6,5
	53,4	28,5	28,0	44,0	7,9	97,0
Среднее	87,0	2,8	1,6	0,6	0,1	3,8
	40,0	14,3	14,8	37,5	13,6	58,8

Примечание. В числителе — содержание элемента, мг/кг; в знаменателе —

в торфяной залежи и в верхнем ее слое 0—50 см [39]

Верхний слой (0—50 см)					
Mn	Zn	Cu	Co	Mo	B
79,0	0,2	0,3	0,3	0,1	1,3
23,6	2	4,7	14,5	10,9	—
64,7	1,5	4,4	0,2	0,1	1,1
29,1	7	38,2	38,9	28,3	44,2
82,0	1,2	3,1	0,6	0,1	1,4
19,3	2,5	12,6	31,2	16,5	63,7
25,3	0,7	1,9	0,2	0,2	2,2
16,8	3,0	28,8	37,4	11,0	78,1
100,4	0,4	0,8	0,5	0,1	4,0
35,1	3,1	23,8	39,6	3,8	—
159,9	0,1	1,3	1,3	0,1	5,8
38,9	8,6	15,8	66,6	8,2	52,6
110,5	1,5	1,0	0,8	0,1	1,8
43,3	7,5	20,0	36,7	15,2	60,5
73,6	0,2	2,4	0,9	0,1	2,8
21,6	0,9	23,7	61,6	11,0	85,0
129,7	3,2	1,3	0,7	0,2	1,1
74,9	1,6	46,2	78,8	17,5	—
77,3	1,2	1,2	0,6	0,1	3,1
25,5	9,2	18,9	44,0	12,3	86,3
47,4	0,7	0,3	0,1	0,1	1,3
65,7	6,5	7,8	16,2	8,0	85,9
106,7	4,2	1,9	0,5	0,1	2,9
41,5	23,5	30,3	30,4	8,0	61,4
88,3	1,3	1,7	0,6	0,1	2,4
36,0	6,3	23,0	41,3	12,6	68,6

относительно валового, %.

ТАБЛИЦА 75

Средняя подвижность микроэлементов по разрезу торфяной залежи  
и в верхнем ее слое 0—50 см

Элементы	Содержание, мг/кг		Средняя подвижность, %	
	Залежь	Слой 0—50 см	Залежь	Слой 0—50 см
Mn	40,0	36,0	B (52,6) ← Mn (40,0) ←	B (68,6) ← Co (41,3) ←
Zn	13,2	6,3	← Mo (14,0) ← Cu (14,0) ←	← Mn (36,0) ← Cu (23,0) ←
Cu	14,0	23,0	← Zn ← (13,2) ← Co (3,7)	← Mo (12,6) ← Zn (6,3)
Co	3,7	41,3		
Mo	14,0	12,6		
B	52,6	68,6		

стоятельству способствует отсутствие или весьма малая концентрация в водах солей кальция. В низинных торфяниках, имеющих поверхностное водно-минеральное питание, торфяные воды получают наибольшее количество минеральных веществ, и особенно кальция, вследствие чего свободные гуминовые кислоты нейтрализуются и показатель pH торфяных вод смещается в сторону слабокислых, нейтральных или даже щелочных значений.

В качестве примера можно привести данные анализа вод верховых и низинных торфяников континентального (болото

ТАБЛИЦА 76

Содержание некоторых химических элементов (% золы торфа)  
в торфяных залежах разного типа

Тип залежи	Зольность, %	pH	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Верховой	1—5	2,8—3,6	0,1—0,7	0,03—0,2
Переходный	3—8	3,6—4,8	3,6—4,8	0,5—1,7
Низинный	<12	4,8—5,8	1,2—4,8	0,05—0,4
	12—20	4,8—6,6	1,2—5,7	0,05—2,0
	20—50	4,0—7,0	0,3—31,0	0,05—7,5

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Тип залежи	Зольность, %	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N <sub>общ</sub>
Верховой	1—5	0,05—0,1	0,03—0,5	0,9—2,0
Переходный	3—8	0,04—0,3	0,05—0,1	1,0—2,6
Низинный	<12	0,1—0,2	0,2—3,0	1,1—3,8
	12—20	0,2—0,5	0,1—9,0	1,6—3,9
	20—50	0,3—0,9	0,2—26,0	1,5—3,7

Чистик, Калининская область) и прибрежно-морского (Большое Тирели, Рагану, Латвийская ССР) типов (табл. 77). Максимальное содержание органического вещества устанавливается в водах верховых торфяников, особенно прибрежно-морского типа. В среднем в верховых торфяниках содержится в 2 раза больше органического вещества, чем в низинных. В групповом составе вод верховых торфяников по сравнению с низинными в 8 раз больше гуминовых кислот и в 1,5 раза меньше воднорасстворимых органических веществ при примерно равном содержании фульвокислот.

ТАБЛИЦА 77  
Общее содержание и состав органического вещества  
болотных вод в верховых и низинных торфяниках

Торфяники	Содержание органического вещества, г/л	Гуминовые кислоты, %	Фульвокислоты, %	Воднорасторимые вещества, %
Верховые торфяники				
Континентальные	19,7	18,6	45,8	35,6
	48,6	14,2	56,3	29,5
Среднее	34,2	16,4	51,1	32,5
Низинные торфяники				
Континентальные	12,5	2,7	51,2	46,1
	18,6	1,3	47,2	51,5
Среднее	15,6	2,0	49,2	48,8

Повышенное содержание органического вещества в торфяных водах, и особенно в водах торфяников верхового типа, где на долю гуминовых и фульвокислот, являющихся активаторами роста растений, приходится 67,5 %, позволяет рекомендовать болотные воды для полива пахотных земель. Содержание и групповой состав органических веществ болотных вод зависят от показателя pH водной среды (табл. 78). Увеличение pH от 3,6 до 4,3 приводит к уменьшению содержания органических веществ в 1,4 раза, а от pH=3,6 до 6,5 — почти в 5 раз. Существенно изменяется и групповой состав органических веществ болотных вод. Так, уменьшается содержание битума С до полного исчезновения при pH=6,5; понижается содержание фульвокислот и повышается соответственно количество оксикарбоновых кислот простого строения. Аналогичное влияние степени кислотности на содержание фульвокислот наблюдается и в почвах: чем выше кислотность почв, тем больше в их составе фульвокислот.

ТАБЛИЦА 78

Зависимость содержания и группового состава органического вещества болотных вод от показателя рН водной среды (по данным А. Ф. Кулаковой и Ф. Я. Сапрыкина)

рН	Содержание органического вещества, мг/л	Битумоиды			Редуцирующие вещества, мг/л	Гумусовые кислоты				Органические кислоты простого строения		
		Общий выход, мг/л	A, %	C, %		Общий выход, мг/л	Гуминовые, %	Фульвокислоты, %	Оксикарбоновые, %	Общий выход, мг/л	Свободные летучие с паром, %	Связанные нелетучие, %
3,6	310	4,5	6,6	93,4	72,0	231,0	12,3	68,9	18,8	2,6	63,6	36,4
4,3	221	2,5	32,0	68,0	55,0	162,0	13,0	62,3	24,7	1,9	41,3	58,7
6,5	63	0,2	100,0	—	16,0	46,0	2,2	59,9	37,9	0,7	18,0	82,0

ТАБЛИЦА 79

Влияние кислотности на содержание микроэлементов (мг/л) в водах торфяных болот (по данным А. Ф. Кулаковой и Ф. Я. Сапрыкина)

Микроэлементы	рН				
	3,9	4,5	5,3	7,5	>8,0
Pb	—	10,7	11,5	13,3	10,1
V	44,9	27,0	18,3	10,0	5,2
Mo	—	0,9	7,9	3,5	2,3
Cu	0,9	11,3	61,0	50,5	20,0
Zn	—	70,3	71,0	125,0	60,0
Ni	27,0	7,9	6,8	10,0	5,0
Co	—	7,2	8,6	15,0	—
Сумма	72,8	135,3	185,1	227,3	102,6

В сухих остатках торфяных вод установлены микроэлементы, содержание которых также во многом зависит от степени их кислотности (табл. 79). С повышением рН водной среды возрастает содержание общей суммы микроэлементов, максимальное количество которых отмечается при  $\text{рН}=7,5$ , но затем оно резко падает — при  $\text{рН} \geq 8$ . При этом наблюдается индивидуальное поведение каждого микроэлемента. Так, концентрации свинца, цинка и кобальта постепенно повышаются до  $\text{рН}=7,5$ ; молибдена до  $\text{рН}=5,3$ . Содержания ванадия и никеля с повышением  $\text{рН}$  водной среды (соответственно до 7,5 и 5,3), наоборот, уменьшаются. В составе торфяных вод с ростом показателя  $\text{рН}$  увеличивается (за исключением  $\text{рН}=4,0 \div 4,5$ ) общая сумма ионов (табл. 80). Ион  $\text{HCO}_3^-$  появляется в составе торфяных вод при  $\text{рН} \approx 5,0$ , и содержание его быстро возрастает, особенно в слабощелочной и щелочной среде. Аналогично ведет себя и кальций, чем, вероятно, и объясняется увеличение в составе вод количества связанных кислот.

Таким образом, надо еще раз отметить, что торфяные воды, и особенно верховых торфяников, весьма ценные для полива растений, так как в их составе имеются повышенные содержания кальция, различные микроэлементы, азот, органические кислоты и редуцирующие вещества, являющиеся пищей для микроорганизмов почвы.

Смена геохимической обстановки приводит к выпадению в осадок окислов и гидроокислов железа, марганца с образованием бурого железняка и марганцовистых конкреций. В ряде случаев происходит известкование торфяников, расположенных в районах развития лёсса и лёссовидных суглинков, а также четвертичных карбонатных отложений. Карбонатные отложения чаще всего встречаются в основании торфяника. Они либо чередуются с прослойми торфа, либо бывают рассеяны в его органической массе. Степень минерализации таких торфов находится в пределах от 15—20 до 50—60 %, содержание окиси кальция составляет в них от 10—12 до 30 %. Рассматриваемые торфяники могут занимать весьма большие площади (до 3000 га и более). Только в Европейской части РСФСР, как указывает Ц. И. Минкина [1956 г.], установлено около 500 месторождений с повышенным содержанием извести.

Весьма полезным для удобрения является фосфоритизированный торф, в составе которого присутствует вивианит  $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . По данным Н. И. Пьявченко [1955 г.], вивианит встречается в разных горизонтах торфяной залежи. Г. Н. Бушинский [1952 г.] отмечает, что фосфоритизация чаще всего наблюдается в осоково-древесном и древесном видах торфа с богатым водно-минеральным питанием, залегающего в поймах или в углублениях русел. Фосфор поступает в основном из областей сноса в виде солей фосфорной кислоты и в торфянике закрепляется железом с образованием вивианита (содержание в нем фосфора достигает 16 %).

ТАБЛИЦА 80  
Состав торфяных вод (мг/л) болот прибрежно-морского и континентального типов

рН	число проб	Содержание ионов								Сумма	$H_2SiO_3$	$Fe_{общ}$	Жесткость, мг-экв/л	Окисляемость	
		$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	$NH_4^-$	$HCO_3^{2-}$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$					перманганатом	бихроматом

Прибрежно-морские торфяники (Большое Тирели и Рагану, Латвийская ССР)

3,99	1	1,4	1,8	1,3	0,5	0,9	—	21,1	4,2	31,2	65,0	0,3	0,2	74,9	121,9
4,00—4,50	8	2,40	1,4	2,6	0,8	0,7	—	10,0	3,6	21,5	117,0	0,5	0,3	45,0	106,0
5,01	1	4,3	2,7	3,5	1,0	1,0	23,8	8,7	3,8	48,8	98,6	0,2	0,4	43,2	66,7
6,11—6,77	6	94,9	4,2	1,0	10,8	0,8	119,3	176,2	2,6	409,8	140,7	0,6	5,8	37,1	77,3
7,03—7,87	15	360,4	28,3	9,8	5,0	1,8	393,3	454,5	6,1	1259,2	145,6	0,3	15,9	14,7	28,4
8,04	1	136,8	270,6	5,9	6,1	—	861,3	656,2	1,8	1938,7	135,2	0,1	29,1	12,2	30,8

Континентальный торфяник (Чистик, Калининская область)

4,16—4,44	3	1,6	0,5	1,6	0,5	0,7	—	10,0	2,1	17,0	155,0	0,8	0,2	40,7	78,0
6,29—6,36	2	16,3	3,1	0,7	0,8	0,6	30,5	14,5	1,5	68,0	150,0	0,7	1,1	40,7	68,8
7,53	1	49,4	7,3	2,9	1,0	0,1	175,0	11,5	1,2	248,4	65,0	0,1	3,1	1,6	4,4

ТАБЛИЦА 81

Содержание микроэлементов (мг/кг) в гуминовых кислотах и фульвокислотах почв Ленинградской области

Почвы	Cu	Zn	Pb	Mo	V	Co	Ni	Ba	Mn	Zr	P	Сумма (без P)
Дерново-слабоподзолистая глеевая на ленточной глине	6	10	0,2	0,4	4	1,4	1,6	6	10	4	400	43,6
	25	100	—	—	40	—	15	50	5	—	2500	235
Дерново-среднеподзолистая поверхностино-оглеенная на ленточной глине	16	12	—	0,4	2	0,6	0,6	2	0,6	0,6	100	34,8
	45	150	—	—	5	—	5	50	5	—	2500	260
Дерново-среднеподзолистая на безвалунной глине	40	40	0,2	0,4	4	1,2	0,4	2	0,2	2,0	200	90,4
	50	150	50	—	—	—	10	150	5	—	500	415
Дерново-сильноподзолистая поверхностино-оглеенная на карбонатной морене	8	16	0,06	10	3	0,2	0,6	2	2	1	1000	42,9
	15	150	3	—	5	—	5	50	15	—	—	243
Подзол иллювиально-железистый на двучленной породе	6	2	0,2	—	0,2	—	—	2	0,2	0,2	—	10,8
	15	50	15	1	—	—	5	450	5	—	—	541
Торфяно-болотная	11,6	2,9	0,4	0,1	—	0,3	2,1	—	—	—	—	17,4
	381	1360	5,4	0,5	—	—	—	—	—	—	—	1746,9

Примечание. Числитель — содержание микроэлементов в гуминовых кислотах, знаменатель — в фульвокислотах.

Процесс выветривания минеральных и торфяно-болотных почв, особенно в условиях гумидного сильно увлажненного климата, приводит к окислению гумуса почв с формированием благоприятных условий для образования органоминеральных комплексов, способных к миграции за пределы почвенного покрова. Исследование щелочных вытяжек из некоторых почв Ленинградской области, выделение из них гуминовых и фульвокислот с определением содержания ряда микроэлементов показали (табл. 81), что максимальная концентрация микроэлементов в гуминовых кислотах (90,4 мг/кг) устанавливается в дерново-среднеподзолистой почве, образовавшейся на безвалунной глине. При этом ведущими микроэлементами, содержание которых равно или больше 10 % от их общей суммы, являются цинк и медь (по 40 мг/кг). Минимальное содержание микроэлементов (10,8 мг/кг) имеют гуминовые кислоты иллювиально-железистого подзола, развитого на двухчленной породе; здесь ведущими микроэлементами являются медь, цинк и барий.

В фульвокислотах максимальное содержание микроэлементов определено в торфяно-болотной почве (1746 мг/кг), причем ведущими являются медь (381) и цинк (1360). Минимальное количество микроэлементов (235 мг/кг) характерно для дерново-слабоподзолистой глеевой почвы, развитой на ленточной глине; ведущими микроэлементами здесь являются медь (25), цинк (100), ванадий (40) и барий (50). Фульвокислоты отличаются большой активностью в соединении с фосфором. Максимальное содержание фосфора (2500 мг/кг) обнаружено в фульвокислотах из дерново-слабо- и среднеподзолистой почвы, развитой на ленточных глинах; отсутствие фосфора характерно для фульвокислот подзола. Максимальное содержание фосфора в гуминовых кислотах (1000 мг/кг) установлено в дерново-сильноподзолистой поверхностно-оглеенной почве, образовавшейся на карбонатной морене.

Таким образом, наиболее активными комплексообразователями с микроэлементами и фосфором являются фульвокислоты, которые в своем составе содержат в среднем 573 мг/кг микроэлементов, в то время как гуминовые кислоты содержат всего 40 мг/кг; среднее содержание фосфора в фульвокислотах составляет 1100 мг/кг, в гуминовых кислотах — 340 мг/кг. В водных вытяжках содержание гуминовых кислот не превышает 0,5 %, основная органическая масса представлена фульвокислотами — 25,5 % и оксикарбоновыми кислотами простого строения — 71,2 %.

## ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОХИМИИ В ПОВЫШЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И В ИХ ОХРАНЕ

## ГЛАВА 9

### АГРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД УСКОРЕННОГО ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ

Плодородие почвы определяется в основном ее механическим составом, структурой, содержанием природных органических и минеральных коллоидов, а также химических элементов, в том числе и микроэлементов, важных для жизнедеятельности растений и микроорганизмов почвы. Повышение окультуренности почв, а следовательно, и их плодородия осуществляется методами мелиорации, и в первую очередь улучшением структуры почв. Академик Л. В. Таусон пишет [Наука в СССР, 1983, № 1, с. 72]: «Нужно улучшать структуру, водно-физические и агрехимические свойства, повышать биологическую активность почв и устранять дефицит необходимых химических элементов. Преобразовать почвы только путем внесения даже больших доз минеральных удобрений невозможно».

Основными мелиорантами почв являются природные коллоиды — гумус и глинистые минералы, которые обволакивают минеральные частицы почвы, склеивают их, образуя мельчайшие агрегаты, обладающие скольжением при определенной влажности и способствующие проникновению к корням растений микроорганизмов, питательных веществ и воздуха. Обработка почвы сельскохозяйственными орудиями обеспечивает дробление почвенных агрегатов до требуемых размеров (2—3 мм).

Почвы нечерноземной зоны отличаются плохими механическими свойствами и малым содержанием гумуса, поэтому процесс их окультуривания в сравнении с обработкой чернозема весьма сложен и требует больших количеств мелиорантов, органических веществ и извести. В качестве органических мелиорантов обычно применяют навоз и торф, при этом для первичного окультуривания целинных подзолистых почв необходимо внесение мелиорантов в больших количествах. Весьма ценным структурообразователем почв является компост, состоящий из торфяно-навозной смеси, получаемой на скотном дворе при использовании верхового торфа в качестве подстилки. Этот торф способен накапливать жидкий навоз, поглощать газы и аммиак, что приводит к улучшению санитарно-гигиенических условий.

Там, где нет торфяных месторождений, для увеличения гумуса в почвах применяют так называемые зеленые удобрения, т. е. проводят сидеризацию. По этому методу на пахотных или

целинных землях высевают сидеранты, среди которых многолетние люпины занимают одно из первых мест. Обильная масса люпина запахивается в почву, и благодаря ее медленному разложению почва обеспечивается гумусом на три-четыре последующих посева полевых культур.

Корневая система люпина разрыхляет плотный подпочвенный горизонт, а сам люпин фиксирует азот из воздуха. Люпин содержит малоподвижные медленно разлагающиеся углеводы, которые служат пищей для почвенных микроорганизмов, а также способствуют улучшению структуры почв. Часто люпиновые плантации размещают на лесных полянах или небольших пустующих участках, а затем зеленую массу запахивают на пахотных землях. Особенно ценным органическим удобрением является компост люпина с торфом, который получают выращиванием люпина на торфянике. Люпиновую зеленую массу снимают вместе с верхним слоем торфяника. Смесь закладывают в штабеля и после месяца дозревания используют для запахивания в почву. Посев люпина обычно проводят зимой, когда резкие колебания температур способствуют разрушению твердой оболочки семян, что помогает их набуханию и очень раннему прорастанию весной.

Большой опыт сидеризации накоплен в республиках Средней Азии. Для пополнения почв гумусом здесь используют скороспелый персидский клевер — шабдар, а для рисовых полей — зимующий горох и озимую вику. На сероземах, красноземах, подзолистых и аллювиальных кислых почвах субтропиков применяют белый люпин, а на песчаных почвах — сераделлу.

В последнее время проводятся исследования по применению в роли структурных мелиорантов искусственных kleящих веществ, полученных как из природного сырья, так и путем синтеза. Таким перспективным kleящим веществом для сероземов является полимер К-4, который в течение нескольких часов или суток может создать нужную структуру почвы.

Важную роль в окультуривании почв и в улучшении их структуры играет известкование, которое, снижая кислотность, создает благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов и растений. Известь, вступая в реакцию с гуминовыми кислотами, образует гуматы кальция, выполняющие функции биологического kleя, который формирует благоприятную для растений структуру почвы. Известкование полезно не только для кислых почв, но также и для слабокислых и нейтральных; только дозы внесения извести в эти почвы должны быть незначительными.

Таким образом, на современном уровне развития структурной мелиорации почв основным мелиорантом является органическое вещество, которое образует природный биологический kleй, способный создавать благоприятную для жизнедеятельности растений структуру почв. Основным недостатком органического структурообразователя является его легкая окисляе-

мость, которая приводит к разрушению гуминовых кислот и к образованию легкомигрирующих фульвокислот и оксикарбоновых кислот. Эти кислоты удаляются за пределы почвенного покрова, вынося ценные для жизнедеятельности растений и микроорганизмов почв химические элементы (фосфор, калий, медь, цинк и др.). Поэтому для поддержания оптимальной структуры почв необходимо ежегодно вносить в почвы органический мелиорант, коэффициент полезного действия которого в условиях песчаных почв с высокой промывной способностью оказывается весьма низким.

В противоположность песчаным, почвы, развитые на глинах, унаследовали от исходных пород повышенную плотность, отрицательно влияющую на аэрацию и водную фильтрацию. Эти качества почв затрудняют жизнедеятельность растений и микроорганизмов из-за недостаточного поступления питательных веществ, которыми богаты глинистые почвы. Слабая аэрация почв создает благоприятные условия для жизнедеятельности анаэробных бактерий, вызывающих у растений различные заболевания. Слабая фильтрационная способность почв приводит к поверхностному заболачиванию, особенно весной и осенью.

Это сокращает вегетационный период, так как весной сроки посевов отодвигаются до спада поверхностной воды, а осенью затрудняется уборка урожая. Открытые канавы и закрытый дренаж не ликвидируют поверхностное заболачивание, особенно на равнинных местах, где отсутствует боковой сток. Чтобы ускорить уход поверхностных вод, применяют кротование (устройство выводных борозд) и другие агромелиоративные мероприятия. Но все эти меры не устраняют природных недостатков почв, они только ускоряют уход поверхностных вод. Плотность почв, и особенно подпахотного горизонта, не снижается. В таких условиях развитию корневой системы растений оказывается большое сопротивление, что сильно влияет на урожайность и качество выращиваемой продукции.

Широко известный способ постепенного увеличения пахотного слоя в результате систематического прилаивания иллювиального горизонта требует много времени. При существующей агротехнике предельная толщина обрабатываемого слоя почвы достигает 35—40 см. Применение сверхглубокой обработки на всю толщу почвы позволяет рыхлить ее почти до уровня дрен. Успех такого мелиоративного метода во многом зависит от механического состава глинистых почв, и в частности от минералогического состава и количества илистой фракции. При незначительном содержании илистой фракции и при малом количестве глинистых минералов, обладающих высокой емкостью поглощения, глубокое рыхление резко уменьшает, а затем и полностью ликвидирует различие в составе и строении пахотного и подпахотного слоев. При этом постепенно формируется водопроницаемый почвенный покров, способный пропускать через себя значительный объем поверхностных вод и

сбрасывать их в дренажную систему. В том случае, когда в глинистых почвах содержится много глинистых минералов с повышенной емкостью поглощения и высокой концентрацией илистых фракций, глубокое рыхление оказывает слабое действие, и при выпадении повышенных количеств атмосферных осадков происходит уплотнение глинистых почв.

Большую помощь в создании оптимальной структуры почв методом глубокого рыхления оказывает известкование с применением минеральных удобрений, особенно азотных. Глубокое внесение извести и минеральных удобрений позволяет предотвратить слипание частиц разрыхленных горизонтов (особенно кислых) и стабилизировать структуру почвы.

Все вышеописанные методы окультуривания почв требуют ежегодного внесения мелиорантов и отличаются растянутым во времени процессом их улучшения. Наиболее прогрессивным методом ускоренного окультуривания целинных и пахотных земель и повышения их плодородия является предложенный нами агрогеохимический метод, имеющий древнюю историю и известный как глинование и пескование.

Предлагаемый агрогеохимический метод основан на структурной мелиорации почв, при которой в качестве мелиорантов используются местные горные породы или отходы горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Лучшими считаются те мелиоранты, которые могут не только улучшить структуру почв, но и снабдить ее недостающими химическими элементами, важными для жизнедеятельности растений и микроорганизмов. Изменение водно-физических и агрохимических свойств путем внесения в легкие (песчаные и супесчаные) почвы глинистых пород (глинование), а в тяжелые (глинистые) почвы — песчанистых пород (пескование) обеспечивает получение стабильной структуры почв.

Предварительно детально изучается почвенный покров земель сельскохозяйственного предприятия, составляется почвенно-геохимическая карта крупного масштаба (1:10 000) с выделением участков почв различного механического состава и различного содержания в них микроэлементов. Исследуется вещественный и микроэлементный состав местных горных пород и отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Затем путем определенного подбора компонентов почва + горная порода проводится коренное преобразование структуры почв и обеспечивается повышение их плодородия на надежной научной основе.

Этот метод по существу коренного улучшения почв, изменения их агрофизических и агрохимических свойств с одновременным пополнением необходимыми химическими элементами назван нами агрогеохимическим методом ускоренного окультуривания почв. Он особенно подходит для молодых почв нечерноземной зоны, где главным пахотным фондом служат дерново-подзолистые и подзолистые почвы, в основном слабо- и средне-

окультуренные и являющиеся на 53,8 % средне- и сильноокисленными. Содержание фосфора менее 50 мг/кг почвы установлено на 47,8 % пахотных земель, калия меньше 100 мг/кг — на 32,2 % [73]. Эти почвы имеют мало гумуса, в составе которого преобладают фульвокислоты и оксикарбоновые кислоты простого строения. Рассматриваемые почвы отличаются низкой емкостью поглощения (особенно песчаные разновидности), агрономически малоценной структурой и рядом других неблагоприятных физических и физико-химических особенностей.

Быстро поднять плодородие таких почв только внесением больших доз минеральных удобрений нельзя. Применение местных осадочных пород (мелиорантов) с учетом их качества (химический и механический состав) значительно расширяет возможности преобразования почв. Использование же для этой цели отвальных пород карьеров и отходов горнoperерабатывающей промышленности, кроме того, способствует оздоровлению окружающей среды и рекультивации.

## ГЛАВА 10

### ПРОВЕРКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АГРОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА В СОВХОЗАХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Агрогеохимический метод повышения плодородия почв проверен вегетационными, полевыми и производственными опытами, проведенными СевНИИГиМ и ВСЕГЕИ [67]. В качестве структурных мелиорантов были использованы как местные осадочные породы, так и отходы (хвосты) Кингисеппского производственного объединения «Фосфорит» (табл. 82, 83).

Вегетационными опытами установлено следующее: по мере увеличения дозы мелиорантов улучшаются водно-физические и агрохимические свойства дерново-подзолистых и торфяных почв. Во всех вариантах с мелиорантами растения развиваются лучше, чем на контроле, при этом увеличивается кустистость ячменя с двух-трех побегов на контроле до пяти-семи, резко изменяется соотношение между зерном и соломой с повышением доли основной продукции — зерна. При использовании кембрийской глины максимальный урожай кормовых бобов достигается при дозе 100 м<sup>3</sup>/га, прирост составляет 74 % к контролю (табл. 84).

Весьма показательны результаты полевых и производственных опытов в совхозе «Федоровское», входящем в производственное сельскохозяйственное объединение «Детскосельское». Опытный участок был покрыт кустарником (заростность 60 %). Культурно-технические и гидромелиоративные работы проводились летом 1976 г., осушение выполнялось закрытым дренажем с расстоянием между дренами 20 м. Почва опытного участка —

ТАБЛИЦА 82

Агрономическая характеристика мелиорантов, использованных в вегетационных, полевых и производственных опытах

Мелиоранты	рН (солево- вой)	Гидроли- тическая кислот- ность	Емкость поглоще- ния	Валовое содержание, мг/кг	Подвижная форма, мг/кг					Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Полная влаго- емкость, %
					мг-экв/100 г мелио- ранта	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	K <sub>2</sub> O	K
Кембрийская глина	7,10	0,48	0,97	450	23,2	20	9	2,9	2,4	2,69	38,8
Оболовый песок	8,17	0,29	0,96	11 350	1,4	100	44	1,3	1,1	2,64	32,6
Глауконитовый песок	7,65	0,29	0,99	3 350	16,2	62	27	2,8	2,3	2,70	33,6
Диктионемовый сланец	6,50	5,29	0,92	9 500	140	30	13	3,8	3,2	2,57	35,2
Отходы (хвосты) ПО «Фосфорит»	7,10	0,41	0,94	3 950	4	32	14	2,6	2,2	2,36	33,8

ТАБЛИЦА 83  
Содержание окислов и микроэлементов в мелиорантах

Мелиоранты	Оксиды, %							Микроэлементы, мг/кг								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cu	Zn	Mo	V	Ni	Co	B	Sr	Pb
Оболовый песок	89,0	—	0,5	1,3	—	0,4—0,5	8,0	25	2	4	180	6	1	50	900	7,8
Глауконитовый песок	88,0	—	1,8	1,5	—	2,6	6,2	60	50	5—11	65	16	4	30	300	—
Диктионемовый сланец	50,0	12	10,0	8	≤2	≤5	8,0	400	80	45	400	60	18	60	130	40
Кембрийская глина	60,0	16	≤5	≤1	1,5—2	<5	0,2	60	400	4	80	20	15	—	—	8
Отходы (хвосты) ПО «Фосфорит»	96,2	0,23	0,15	0,65	0,06	0,06	1,62	20	1,2	4	76	6,4	0,8	32	70	7,2

дерново-слабоподзолистая на бескарбонатной морене, характеризуется высокой плотностью в сухом состоянии ( $1,41 \text{ г}/\text{см}^3$ ), низкой водопроницаемостью (плотность в водонасыщенном состоянии  $2,53 \text{ г}/\text{см}^3$ ), малым содержанием элементов питания в доступных для растений формах (содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  равно 60 и  $\text{K}_2\text{O}$  — 74 мг/кг почвы), слабой реакцией среды (рН солевой = 5,76).

ТАБЛИЦА 84

Влияние различных доз мелиорантов на урожай кормовых бобов и ячменя и на отношение зерна к соломе ячменя

Мелиоранты и контроль	Культура	Доза мелиорантов, м <sup>3</sup> /га		
		50	100	150
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва				
Контроль $\text{N}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	Кормовые бобы	63,2	74,0	49,7
Кембрийская глина + + контроль		—	—	—
Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва				
Контроль $\text{N}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$ + + 80 т/га ТМАУ	Ячмень	—	—	—
Оболовый песок + контроль		1 : 1,98	1 : 1,98	1 : 1,98
Глауконитовый песок + + контроль		6,3	14,3	20,8
Диктионемовый нец + контроль	слад.	1 : 1,17	1 : 1,17	1 : 1,17
		11,7	35,9	55,0
		—	1 : 1,66	1 : 1,61
		8,6	29,2	46,1
		1 : 1,69	1 : 1,64	1 : 1,32
Торфяно-болотная почва				
Контроль $\text{N}_{40}\text{P}_{60}\text{K}_{120}$	Ячмень	—	—	—
Оболовый песок + контроль		1 : 1,38	1 : 1,38	—
Глауконитовый песок + + контроль		9,4	9,1	—
Диктионемовый нец + контроль	слад.	1 : 1,16	1 : 1,42	—
		3,6	11,0	14,1
		1 : 1,19	1 : 1,18	1 : 1,16
		7,4	17,6	36,0
		1 : 1,16	1 : 1,12	1 : 1,18

Приложение. В числителе — прибавка урожая, %; в знаменателе — отношение зерно : солома.

Полевой и производственный опыты заложены по схеме, представленной в табл. 85. Повторность полевого опыта четырехкратная, размер каждой делянки  $25 \text{ м}^2$ ; повторность производственного опыта двукратная, площадь делянки  $0,25 \text{ га}$ .

Опыты проводились в 1977—1979 гг. Затем были продолжены наблюдения за последействием мелиорантов (мелиоранты и органические удобрения не вносились). Минеральные удобрения применялись согласно схеме опыта в 1978 г. в дозах  $N_{64}P_{40}K_{110}$  общим фоном, в 1979 г.—в дозах  $N_{64}P_{20}K_{27}$ . Проводились наблюдения за изменениями водно-физических свойств почвы,

ТАБЛИЦА 85

Схемы полевых и производственных опытов в совхозах  
«Федоровское» и «Кингисеппский»

Совхоз	Почвы	Мелиоранты	Доза мелиоран- тов, м/га	Удобрения	
				Минеральные, кг/га	Органиче- ские ТМУ, кг/га
Полевые опыты					
«Федоровское»	Дерново-подзо- листая тяжело- суглинистая	— Оболовый песок	— 50 100 150 100	$N_{64}K_{24}$ $N_{64}K_{24}$ $N_{64}K_{24}$ $N_{64}K_{24}$ —	80 80 80 80 —
		Хвосты — отходы ПО «Фосфорит»	50 100 150 100	$N_{64}K_{24}$ $N_{64}K_{24}$ $N_{64}K_{24}$ —	80 80 80 —
Производственные опыты					
«Федоровское»	Дерново-подзо- листая тяжело- суглинистая	— Оболовый песок Хвосты	— 100 100 100	$N_{60}P_{60}K_{80}$ $N_{60}P_{60}K_{80}$ $N_{60}P_{60}K_{80}$	40 40 40
«Кингисепп- ский»	Торфяная	— Хвосты	— 100 100	$N_{55}P_{80}K_{27}$ $N_{55}P_{80}K_{27}$ —	80 80 —
		— Хвосты	— 100 100	$N_{10}P_{15}K_{37}$ $N_{10}P_{15}K_{37}$	— —

влажности, температуры, агротехнических свойств, пищевого режима и биологической активности, за фенологией растений и суммарным испарением. Учитывалась урожайность опытных культур, определялся химический состав продукции. Лабораторно-полевые исследования выполнялись в соответствии с методическими указаниями СевНИИГиМ.

Вегетационные и полевые опыты с внесением в тяжелосуглинистую почву оболового или глауконитового песка, а также

хвостов показали, что эти почвы по водно-физическим и агрохимическим свойствам и по другим параметрам приближаются к высокоокультуренным. Внесение кембрийской глины в легкосуглинистую почву способствует увеличению в ней фракции физической глины (табл. 86). Изменение механического состава почв положительно сказалось на их водно-физических свойствах (табл. 87). Мелиоранты не только улучшили структуру почвы, но благодаря наличию в их составе карбоната кальция, фосфора и калия повысили агрохимические свойства почвы.

На основании трехлетних наблюдений установлено влияние мелиорантов на следующие характеристики почвы.

ТАБЛИЦА 86

Влияние внесения мелиорантов на механический состав почв

Место проведения и вид опыта	Мелиоранты	Доза мелиорантов, м <sup>3</sup> /га	Содержание фракций (мм), % на абсолютно сухую почву					
			1,0—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	< 0,001
Опытно-производственное хозяйство СевНИИГиМ, вегетационный	—	—	6,40	24,70	28,60	9,34	14,62	16,34
	Оболовый песок	100	7,89	35,60	16,36	15,66	15,57	8,92
	Глауконитовый песок	100	8,77	37,58	13,62	8,93	14,91	16,19
	—	150	7,27	39,27	14,45	7,37	18,96	12,68
	Кембрийская глина	100	8,60	69,58	5,21	5,00	3,94	7,67
	—	150	6,97	67,39	4,76	5,12	5,21	10,55
	—	—	6,34	67,00	3,27	5,31	7,03	11,05
	Оболовый песок	100	6,44	40,61	12,66	12,73	16,48	11,08
	Хвосты	100	7,04	33,75	19,10	11,41	17,66	11,04
	—	150	7,89	34,45	17,66	11,66	17,08	11,26
«Черная речка II», полевой	—	100	7,68	34,01	19,61	12,94	17,59	8,17
	—	150	8,09	35,30	19,21	12,62	16,56	8,22

**Водно-физические свойства.** Плотность в сухом состоянии тяжелосуглинистых почв уменьшается с 1,41 до 1,33 г/см<sup>3</sup>, а торфяной почвы увеличивается с 0,38 до 0,45 г/см<sup>3</sup> при снижении полной влагоемкости с 378 до 263 %. Увеличивается продолжительность периода с оптимальным увлажнением в пахотном слое: для тяжелосуглинистых почв — на 25—27 сут, для торфяных — на 31 сут.

Исследование последействия внесения мелиорантов показало уменьшение плотности в более глубоких слоях почв. В первый год плотность в слое 10—20 см уменьшается с 2,60 до 2,56, во второй год — до 2,54 г/см<sup>3</sup>; в слое 20—30 см в первый год — с 2,62 до 2,61, а во второй год — до 2,60 г/см<sup>3</sup>. Улучшается водопроницаемость тяжелосуглинистых почв: в верхнем слое 0—10 см коэффициент фильтрации возрастает в 15—17 раз (с 0,08

Изменение водно-физических свойств дерново-подзолистой  
(участок «Черная речка II»

Мелиоранты и удобрение	Доза мелиорантов, м³/га	Глубина взятия образца, см	Плотность в сухом состоянии, г/см³		
			1977 г.	1978 г.	1979 г.
Контроль	—	0—10	1,43	1,43	1,43
		10—20	1,54	1,54	1,54
		20—30	1,58	1,59	1,59
$N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	—	0—10	1,41	1,42	1,43
		10—20	1,54	1,54	1,54
		20—30	1,58	1,58	1,59
Оболовый песок	100	0—10	1,39	1,41	1,41
		10—20	1,53	1,52	1,52
		20—30	1,58	1,56	1,55
Хвосты	100	0—10	1,38	1,39	1,40
		10—20	1,53	1,51	1,50
		20—30	1,58	1,56	1,55
$\text{Оболовый песок} + N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	50	0—10	1,40	1,41	1,42
		10—20	1,54	1,53	1,52
		20—30	1,58	1,58	1,56
	100	0—10	1,36	1,38	1,38
		10—20	1,52	1,51	1,50
		20—30	1,58	1,56	1,54
	150	0—10	1,33	1,35	1,37
		10—20	1,50	1,52	1,51
		20—30	1,58	1,56	1,54
$\text{Хвосты} + N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	50	0—10	1,40	1,41	1,42
		10—20	1,53	1,52	1,50
		20—30	1,58	1,55	1,55
	100	0—10	1,35	1,37	1,37
		10—20	1,53	1,52	1,50
		20—30	1,57	1,54	1,53
	150	0—10	1,32	1,34	1,35
		10—20	1,51	1,52	1,50
		20—30	1,58	1,55	1,53

до 1,36 мм/мин); в слое 10—20 см в год внесения мелиорантов — почти в 20 раз (с 0,08 до 1,59 мм/мин); в слое 20—30 см в этот год он почти не меняется, на второй и третий годы после внесения мелиорантов возрастает в 15—16 раз.

**Агрохимические свойства.** На примере дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы совхоза «Федоровское» (табл. 88) видно, что мелиоранты снижают кислотность почв, повышают содержание фосфора и калия, значительно уменьшают гидролитическую кислотность. Внесенные в почву фосфор и калий в составе минеральных компонентов агроруд под воздействием окисления и жизнедеятельности микроорганизмов почвы постепенно переходят в растворимое состояние и тем самым на продолжительное время обеспечивают питание растений. Подсчитано, что

тяжелосуглинистой почвы под влиянием внесения мелиорантов  
совхоза «Федоровское»)

Плотность в водонасыщенном состоянии, г/см <sup>3</sup>			Полная влагоемкость, %			Коэффициент фильтрации, мм/мин		
1977 г.	1978 г.	1979 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.
2,56	2,56	2,56	46,6	46,6	46,6	0,10	0,10	0,10
2,60	2,59	2,59	46,7	46,7	46,7	0,09	0,09	0,09
2,62	2,62	2,62	47,0	47,0	47,0	0,06	0,06	0,06
2,51	2,53	2,53	47,1	46,9	46,7	0,12	0,11	0,10
2,59	2,60	2,60	47,3	47,0	46,8	0,08	0,08	0,09
2,62	2,62	2,62	47,0	47,0	47,0	0,06	0,06	0,06
2,52	2,54	2,51	47,0	46,9	46,9	1,34	1,28	1,27
2,60	2,58	2,59	46,9	47,0	47,0	1,27	1,29	1,26
2,62	2,60	2,60	47,0	47,2	47,4	0,06	0,27	0,70
2,53	2,54	2,50	46,9	46,7	46,7	1,29	1,26	1,26
2,60	2,57	2,58	47,3	47,6	47,8	1,27	1,24	1,28
2,62	2,60	2,60	47,0	47,2	47,3	0,06	0,28	0,73
2,50	2,53	2,53	47,2	47,0	47,0	1,37	1,30	1,29
2,59	2,58	2,59	47,7	47,9	47,9	1,28	1,29	1,29
2,62	2,60	2,60	47,0	47,2	47,2	0,06	0,29	0,68
2,50	2,52	2,53	49,9	49,7	49,7	1,54	1,47	1,47
2,59	2,58	2,58	47,8	47,9	48,0	1,40	1,42	1,44
2,61	2,60	2,60	47,0	47,4	47,5	0,06	0,36	0,79
2,49	2,52	2,51	50,0	50,0	49,9	1,78	1,62	1,60
2,57	2,56	2,58	47,9	47,9	47,9	1,59	1,60	1,61
2,62	2,61	2,60	47,0	47,6	47,6	0,06	0,57	0,95
2,51	2,53	2,53	47,2	47,1	47,1	1,28	1,26	1,26
2,59	2,53	2,53	47,6	47,7	47,7	1,26	1,27	1,28
2,62	2,60	2,60	47,0	47,9	47,5	0,06	0,27	0,69
2,50	2,51	2,51	47,9	47,7	47,6	1,47	1,34	1,32
2,58	2,57	2,57	47,7	47,7	47,8	1,30	1,32	1,32
2,62	2,60	2,58	47,0	47,6	47,8	0,06	0,42	0,80
2,47	2,49	2,50	48,6	48,4	48,2	1,69	1,63	1,63
2,59	2,58	2,58	47,4	47,6	47,6	1,60	1,61	1,63
2,62	2,59	2,58	47,0	47,3	47,9	0,06	0,54	0,97

при внесении в почвы оболовых песков в дозе 100 м<sup>3</sup>/га растения могут быть обеспечены фосфором на 10 лет и калием на 6 лет; внесение хвостов в той же дозе обеспечивает растения фосфором и калием в течение 4—5 лет.

**Условия жизнедеятельности микроорганизмов.** Улучшение водно-физических свойств почв делает эти условия более оптимальными, что приводит к интенсивному накоплению нитратного и аммиачного азота (табл. 89). Максимальное накопление азота происходит в период влажности близкой к оптимальной, а минимальное — в конце вегетационного периода. Внесение мелиорантов в торфяную почву также оказывает положительное влияние на процесс нитрификации и аммонификации. Так, в год внесения мелиорантов количество нитратного азота достигало

ТАБЛИЦА 88

Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы под воздействием различных доз мелиорантов в период с 1977 по 1979 г. (участок «Черная речка II» совхоза «Федоровское»)

Варианты опыта	рН (солевой)			Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы			$P_2O_5$ , мг-экв/100 г почвы			$K_2O$ , мг-экв/100 г почвы		
	1977 г.	1978 г.	1979 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.	1977 г.	1978 г.	1979 г.
Почва, контроль	5,60	5,41	5,26	7,12	7,60	8,01	6,8	9,9	11,0	6,5	7,9	10,0
Почва + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	5,69	5,62	5,61	5,28	5,41	5,57	26,5	30,6	34,9	34,4	29,8	32,5
Почва + оболовый песок 100 м <sup>3</sup> /га	6,98	6,50	6,32	0,95	1,29	1,96	63,9	67,6	70,0	34,3	27,9	28,5
Почва + хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	6,74	6,48	6,28	1,13	1,43	2,92	58,9	63,6	67,5	23,4	20,6	22,3
Почва + 50 м <sup>3</sup> /га оболовый песок + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	6,60	5,98	5,79	1,16	4,01	4,50	71,3	76,2	78,7	39,6	36,2	36,7
Почва + 100 м <sup>3</sup> /га оболовый песок + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	7,03	6,60	6,39	0,34	1,09	1,22	142,9	156,6	156,9	68,2	66,0	63,1
Почва + 150 м <sup>3</sup> /га оболовый песок + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	7,22	6,89	6,57	0,01	0,88	1,18	219,6	225,6	217,3	99,5	101,5	98,7
Почва + 50 м <sup>3</sup> /га хвосты + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	6,61	6,16	5,95	1,14	3,37	3,80	68,7	68,5	70,9	33,5	33,1	34,2
Почва + 100 м <sup>3</sup> /га хвосты + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	6,76	6,40	6,28	1,11	2,83	2,92	118,5	124,5	117,3	45,5	42,7	47,1
Почва + 150 м <sup>3</sup> /га хвосты + $N_{64}K_{24}$ + 80 т/га ТМУ	6,94	6,78	6,49	1,00	1,10	1,45	143,0	157,6	154,0	99,3	105,1	97,1

ТАБЛИЦА 89

Содержание нитратного и аммиачного азота в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в зависимости от вносимой в почву дозы мелиорантов

Варианты опыта	1977 г.				1978 г.			1979 г.		
	Май	Июнь	Июль	Август	Июнь	Июль	Август	Июнь	Июль	Август
$N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	11,0	16,3	18,9	2,6	15,7	23,7	1,0	0,9	24,8	10,3
	4,3	18,0	24,6	1,2	6,0	8,0	сл.	2,3	3,6	0,8
100 м <sup>3</sup> /га оболовый песок	14,8	25,6	34,0	20,5	17,5	36,5	2,3	1,4	35,2	0,9
	4,8	17,6	23,4	1,0	5,8	8,2	сл.	6,1	6,9	1,2
100 м <sup>3</sup> /га хвосты	13,1	24,8	33,2	20,1	16,7	32,9	2,1	1,5	34,7	0,7
	4,2	16,9	24,0	1,1	5,5	7,9	сл.	4,5	7,0	0,9
50 м <sup>3</sup> /га оболовый песок + $N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	14,6	24,8	30,0	12,8	18,4	36,1	1,9	1,6	35,5	1,0
	7,6	19,7	28,3	22,1	7,5	8,6	2,3	6,4	6,8	1,1
100 м <sup>3</sup> /га оболовый песок + $N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	25,1	31,9	97,8	55,7	20,2	48,0	3,0	1,7	40,2	1,2
	12,2	61,3	56,6	36,2	12,9	14,8	4,9	7,4	12,1	1,6
150 м <sup>3</sup> /га оболовый песок + $N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	27,0	42,0	118,2	77,3	32,0	66,5	6,8	2,8	43,4	2,3
	27,5	80,7	109,8	43,6	23,3	28,5	9,6	13,2	13,6	2,5
50 м <sup>3</sup> /га хвосты + $N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	12,2	22,6	33,4	10,3	16,8	30,6	2,0	1,8	35,2	0,8
	10,2	20,8	56,6	42,7	6,3	10,0	сл.	5,9	7,1	0,9
100 м <sup>3</sup> /га хвосты + $N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	17,9	29,1	95,1	21,0	21,8	45,7	2,8	2,5	36,9	1,4
	16,3	38,0	65,4	46,2	9,8	12,9	3,0	7,1	10,9	1,3
150 м <sup>3</sup> /га хвосты + $N_{64}K_{24} + 80 \text{ т/га ТМУ}$	21,3	32,8	109,7	36,2	24,1	53,1	6,0	3,4	38,3	1,9
	21,5	64,1	95,4	58,3	18,3	19,4	5,4	9,5	12,3	1,7

Примечание. Содержание азота, мг/кг: числитель — нитратного, знаменатель — аммиачного.

124,0, а аммиачного 50,3 мг/кг, в то время как на контроле было 68,9 и 34,0 мг/кг соответственно.

Изменился и пищевой режим как тяжелосуглинистых, так и торфяных почв. В частности, разложение льняной ткани в год внесения мелиорантов в тяжелосуглинистую почву увеличилось с 19 до 22 %. Повышение биологической активности наблюдалось также на второй (24 %) и третий годы. Но биологическая активность возросла только в слое 0—20 см, а в слое 20—30 см она оставалась приблизительно равной контрольной.

**Температурный режим.** Температура почвы имеет огромное значение в жизнедеятельности растений и микроорганизмов. От температуры зависят как процессы растворимости в воде минеральных и органических компонентов питания растений, так и миграция их к корням растений. Внесение мелиорантов в тяжелосуглинистую почву оказывает незначительное влияние на ее температурный режим. Разница в суммах температур на глубине 10 см за год составляет 20—30 °С. Но благодаря глубокой вспашке разница температур наблюдалась и в слое 10—20 см (60—66 °С). Внесение мелиорантов в торфяные почвы дает более заметный эффект. Период с оптимальной температурой на глубине 10 см на 19—28 сут больше, чем на контроле. Период с неблагоприятными высокими температурами на поверхности почв уменьшается с 8 до 4 сут. Сумма температур при внесении мелиорантов на глубине 10 см больше контрольной на 187 °С, а на глубине 20 см — на 73 °С.

**Качество продукции.** Внесение мелиорантов в тяжелосуглинистые и торфяные почвы способствует улучшению качества продукции; отмечается тенденция к росту доли основной продукции и уменьшению побочной. В полевом опыте соотношение зерна овса к соломе возросло с 1:1,46 до 1:1,12. Кроме того, увеличивается масса зерна, повышается содержание азота, фосфора, калия (как в зерне, так и в соломе) по мере увеличения доз мелиорантов. При этом в продукции, выращенной на минеральной почве, содержание фосфора возрастает в 2 раза, калия в 3 раза, а на торфяной почве — азота на 20 %, фосфора в 1,5 раза. Наблюдается увеличение содержания сахара и витамина С в капусте, протеина в сене многолетних трав. Вредные химические элементы (стронций, свинец и др.) содержатся в продукции в незначительных количествах.

**Развитие и урожайность растений.** Во всех вариантах с мелиорантами растения развиваются лучше, чем на контроле (рис. 4). Увеличивается кустистость ячменя с двух-трех до пяти-семи побегов, листья становятся более широкими и темными. В конце вегетации растения на участках без добавок мелиорантов имели высоту на 20 см меньше, чем при добавках.

Положительное изменение структуры почв, их водно-физических и агрохимических свойств оказало большое влияние на повышение урожайности сельскохозяйственных культур: капусты белокочанной, свеклы столовой, овса, ячменя, картофеля, мно-



Рис. 4. Овес сорта Золотой дождь на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (совхоз «Федоровское», 1977 г.).

голетних и однолетних трав. Прибавки урожайности колебались в зависимости от типа почв, вида мелиорантов, их доз, метеорологических условий, возделываемых культур. В полевых условиях наибольшие прибавки урожая были получены от применения оболового песка в дозах 150 м<sup>3</sup>/га. Наблюдалось влияние мелиорантов не только в год внесения, но и в последействии. Например, прибавки в год внесения мелиорантов в тяжелосуглинистую почву на участке «Черная речка II» достигали 76,4 % (овес), в первый год последействия — 66,6 %, во второй — 58,8 % (однолетние травы); на торфяных почвах прибавка в год

внесения составила 21,7 % (овес), в последействии — 76,0 % (многолетние травы).

Вегетационными опытами показано, что оболовый и глауконитовый пески, диктионемовый сланец и кембрийская глина являются хорошими структурными мелиорантами, пополняющими почвы некоторыми микроэлементами, калием и фосфором (табл. 90). Урожайность ячменя на дерново-подзолистой тяже-

ТАБЛИЦА 90

Влияние внесения мелиорантов в дерново-подзолистую почву на урожайность ячменя и кормовых бобов (вегетационный опыт)

Варианты опыта	Доза мелиорантов, м <sup>3</sup> /га	Урожайность, г/сосуд	Прибавка	
			г/сосуд	%
Тяжелосуглинистая почва (ячмень)				
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> + 80 т/га ТМАУ — фон	—	33,2	—	—
Фон + оболовый песок	50	35,4	2,2	6,6
	100	37,9	4,7	14,3
	150	40,1	6,9	20,8
Фон + глауконитовый песок	50	37,1	3,9	11,7
	100	45,1	11,9	35,9
	150	51,5	18,3	55,0
Фон + диктионемовый сланец	50	36,0	2,8	8,6
	100	42,9	9,7	29,2
	150	48,5	15,3	46,1
Легкосуглинистая почва (кормовые бобы)				
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> — фон	—	32,6	—	—
Фон + кембрийская глина	50	53,2	20,6	63,2
	100	56,7	24,1	74,0
	150	48,8	16,2	49,7

лосуглинистой почве возрастает с увеличением доз внесения мелиорантов и достигает максимума при дозах 150 м<sup>3</sup>/га. При этом лучшими мелиорантами оказались глауконитовый песок, повысивший урожайность на 55 %, и диктионемовый сланец — на 46,1 %. Использование кембрийской глины в качестве структурного мелиоранта для дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы дало максимальный прирост кормовых бобов (74,0 %) при дозе 100 м<sup>3</sup>/га, дальнейшее же увеличение дозы до 150 м<sup>3</sup>/га резко снизило их урожайность до 49,7 %, что по эффективности ниже, чем при дозе 50 м<sup>3</sup>/га.

Схема полевого опыта предусматривала: 1) контроль; 2) контроль + N<sub>60</sub>K<sub>24</sub> + 80 т/га торфяно-минеральных удобрений (ТМУ) с дозами мелиорантов 50, 100 и 150 м<sup>3</sup>/га; 3) только мелиоранты без каких-либо удобрений (табл. 91). Внесение в почву структурных мелиорантов настолько улучшает ее структуру, водно-физические и агрохимические свойства, что только

ТАБЛИЦА 91

Влияние внесения мелиорантов в дерново-подзолистую тяжелосуглинистую почву на урожайность сельскохозяйственных культур (участок «Черная речка II» совхоза «Федоровское»)

Варианты опыта	Доза мелиорантов, м <sup>3</sup> /га	1977 г. Овес сорта Золотой дождь				1978 г. Однолетние травы				1979 г. Однолетние травы			
		Урожай, ц/га	Прибавка			Урожай, ц/га	Прибавка			Урожай, ц/га	Прибавка		
			к контролю		к фону		к контролю		к фону		к контролю		к фону
			ц/га	%	%		ц/га	%	%		ц/га	%	%
Контроль (почва)	—	22,2	—	—	—	179,0	—	—	—	157,0	—	—	—
Фон: почва + N <sub>66</sub> K <sub>24</sub> + + 80 т/га ТМУ	—	28,4	6,2	27,9	—	210,0	31,0	17,3	—	170,0	13,0	8,3	—
Почва + хвосты	100	30,5	8,3	37,4	7,4	245,0	66,0	36,9	16,6	176,0	19,0	12,1	3,5
Почва + оболовый песок	100	32,4	10,2	45,9	14,1	249,0	70,0	39,1	18,6	181,0	24,0	15,3	6,4
Фон + хвосты	50	39,4	17,2	77,5	38,7	266,0	87,0	48,6	26,6	190,0	33,0	21,0	11,9
	100	41,3	19,1	86,0	45,4	280,0	101,0	56,4	33,3	206,0	49,0	31,2	21,1
	150	44,6	22,4	101,0	67,0	336,0	157,0	87,7	60,0	253,0	96,0	61,1	48,9
Фон + оболовый песок	50	40,6	18,4	82,9	42,9	282,0	103,0	57,0	34,2	196,0	39,0	24,8	15,3
	100	45,5	23,1	104,9	60,2	310,6	131,6	73,5	47,5	222,0	65,0	41,4	30,5
	150	50,1	27,9	125,7	76,4	350,0	171,0	95,5	66,6	270,0	113,0	72,0	58,8

за счет внутренних резервов почвы урожайность сельскохозяйственных культур становится выше, чем при использовании минеральных и органических удобрений в варианте обычной зональной агротехники. При внесении же в окультуренную мелиорантами почву минеральных и органических удобрений урожайность сельскохозяйственных культур повышается еще значительно. Так, при дозе мелиорантов 150 м<sup>3</sup>/га имеем прибавку в первый год — на 76,4 %, во второй — на 66,6 %, в третий — на 58,8 % по сравнению с урожаем, полученным на почве с минеральными и органическими удобрениями (фон). В дальнейшем при производственных опытах применялась доза агроруды 100 м<sup>3</sup>/га.

Производственные опыты в совхозе «Федоровское» проводились с использованием в качестве структурных мелиорантов оболового песка и хвостов ПО «Фосфорит» (табл. 92). Положи-

ТАБ

Результаты полевых и производственных опытов по повышению тяжелосуглинистых почвах совхоза «Федоровское»

Варианты опыта	Оболовый		
	Первый год. Овес Золотой дождь		
	Урожай, ц/га	Прибавка, %	
		к контролю	к НРК + ТМУ
Контроль (фон)	22,2	—	—
Фон + N <sub>60</sub> K <sub>24</sub> + 40 т/га ТМУ	28,4	27,9	—
Полевые			
Обычная зональ			
100 м <sup>3</sup> /га	32,9	48,2	15,8
50 м <sup>3</sup> /га + N <sub>60</sub> K <sub>24</sub> + 40 т/га ТМУ	42,8	92,8	50,7
100 м <sup>3</sup> /га + N <sub>60</sub> K <sub>24</sub> + 40 т/га ТМУ	46,3	108,5	63,0
150 м <sup>3</sup> /га + N <sub>60</sub> K <sub>24</sub> + 40 т/га ТМУ	49,0	120,7	72,5
Новый агрогео			
Контроль (фон)	18,0	—	—
Фон + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	22,8	26,6	—
Фон + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> + 40 т/га ТМУ	26,8	48,9	—
Производствен			
Обычная зональная			
100 м <sup>3</sup> /га + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>	36,2	101,0	37,3
100 м <sup>3</sup> /га + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> + 40 т/га ТМУ	42,5	136,0	53,6
Новый агрогеохим			

\* Опыты проводились без внесения ТМУ и с уменьшенной дозой НРК (N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>).

тельное действие хвостов на плодородие почв позволило заложить производственные опыты на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах совхоза «Кингисеппский». Выращивание капусты и свеклы на 8 га доказало эффективность агрогеохимического метода повышения плодородия почв и возможность утилизации отходов ПО «Фосфорит» (табл. 93). Мелиоранты, внесенные в почвы, способны в результате улучшения состава и структуры почвы даже без минеральных и органических удобрений изменить в положительную сторону водно-физические и агрохимические свойства, ощутимо повысить урожай, при этом мобилизуются богатые внутренние ресурсы питательных веществ тяжелосуглинистых почв.

В совхозе «Родина» Сланцевского района Ленинградской области на участке «Монастырек», осушенному закрытым дренажем, в дерново-глеевую хорошо окультуренную тяжелосуг-

#### ЛИЦА 92

урожайности овса и однолетних трав на дерново-подзолистых с использованием мелиорантов в дозах 50—150 м<sup>3</sup>/га

Песок			Хвосты					
Второй год*. Однолетние травы			Первый год. Овес Золотой дождь			Второй год*. Однолетние травы		
Урожай, ц/га	Прибавка, %		Урожай, ц/га	Прибавка, %		Урожай, ц/га	Прибавка, %	
	к контролю	к НРК+ + ТМУ		к контролю	к НРК+ + ТМУ		к контролю	к НРК+ + ТМУ
179	—	—	—	—	—	—	—	—
210	17,3	—	—	28,4	27,9	—	—	—

#### опыты

##### ная агротехника

179	—	—	—	—	—	—	—	—
210	17,3	—	—	—	—	—	—	—

##### химический метод

273	52,5	30,0	30,5	37,4	7,4	245	36,9	16,7
245	36,9	16,7	39,4	77,5	38,7	266	48,6	26,7
287	60,3	36,7	41,3	86,9	45,4	280	56,4	33,3
322	79,9	53,3	44,6	100,9	57,0	336	87,7	60,0

#### ные опыты

##### агротехника

160	—	—	—	—	—	—	—	—
172	—	—	—	—	—	—	—	—
190	18,1	—	—	—	—	—	—	—

##### ческий метод

268,5	67,8	42,0	33,4	85,5	24,7	243	52,8	28,5
284,0	76,5	50,2	38,0	111,0	41,8	277	73,1	46,5

линистую почву (площадь 39 га) были внесены хвосты в дозе 100 м<sup>3</sup>/га по фону органических удобрений 80 т/га; предшественник — ячмень (урожайность 21 ц/га). Осеню проводено лущение стерни, весной — внесение органических удобрений и хвостов, вспашка на глубину 18—20 см, культивация в два следа, нарезка гребней под посадку картофеля сорта Гатчинский. Уход за посевом состоял из трехкратного боронования, двухкратной обработки ядохимикатами против фитофторы.

ТАБ

Влияние внесения хвостов в дерново-подзолистую сельскохозяйственных культур (участок «Захонье»)

Варианты опыта	1978 г. Ранняя капуста			
	Урожай, ц/га	Прибавка		
		к контролю, ц/га	%	к фону, %
Контроль	162,3	—	—	—
Фон: N <sub>55</sub> P <sub>80</sub> K <sub>27</sub> + 80 т/га ТМУ	215,1	52,8	32,5	—
Хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	278,2	115,9	71,4	29,3
Фон + хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	293,7	131,4	80,9	36,5

Уборка проведена картофелекопалкой СКН-4 при густоте стояния растений 40—42 тыс. на 1 га. Валовой урожай клубней картофеля на участке, где были внесены хвосты, составил 180 ц/га при урожайности на участке только с органическими удобрениями в 138 ц/га, т. е. прибавка составила 42 ц/га, или 30,4 % (средний урожай по совхозу 115 ц/га).

Микробиологическая активность почвы на участке с совместным внесением органических удобрений и отходов (хвостов) выше, чем при использовании только органических удобрений. Установлено, что внесение 100 м<sup>3</sup>/га отходов в тяжело-суглинистую дерново-глеевую почву понизило кислотность почвы с pH=5,57 до 5,83, гидролитическую кислотность с 1,95 до 1,69 мг-экв/100 г почвы. Содержание аммиачного и нитратного азота повысилось в 1,1—3 раза, подвижного фосфора — в 2,4—3 раза, обменного калия — в 1,2—1,5 раза (табл. 94).

**Улучшение свойств мелиорируемых торфяных почв агрогеохимическим методом.** Работы проводились в совхозах «Кингисеппский» и «Красноозерный» Ленинградской области (табл. 95). При внесении в торфяную почву одних только хвостов в дозе 100 м<sup>3</sup>/га урожайность овса превышает контроль на 33,3 %, а фон — на 7,6 % (табл. 96). Внесение же в окультуренную торфяную почву еще и минеральных удобрений повышает урожайность на 51,2 % к контролю и на 21,7 % к фону.

На следующий год на этих же площадях были убраны многолетние травы; урожай с участка, где применялись хвосты без удобрений, был на 43,2 % выше контроля и на 17,6 % выше фона. При использовании же отходов и минеральных удобрений урожайность многолетних трав повышается, прирост составляет 88,9 % к контролю и 55,1 % к фону.

Следует отметить, что для торфяной почвы, как показали исследования И. М. Емельяновой, дозы 100 и 150 м<sup>3</sup>/га весьма

лица 93

тяжелосуглинистую почву на урожайность совхоза «Кингисеппский»)

1978 г. Средняя капуста				1979 г. Свекла			
Урожай, ц/га	Прибавка			Урожай, ц/га	Прибавка		
	к контролю		к фону		к контролю		к фону
	ц/га	%	%		ц/га	%	%
220,1	—	—	—	180,2	—	—	—
283,6	63,5	28,8	—	210,6	30,4	16,9	—
340,0	119,9	54,5	19,9	218,9	38,7	21,5	4,2
387,0	166,9	75,8	36,6	254,3	74,1	41,1	20,7

малы из-за низкой зольности торфяных почв, поэтому в совхозе «Красноозерный» на участке «Золотая долина» были использованы местные мелиоранты в дозе 500 м<sup>3</sup>/га. Участок первого года освоения площадью 226 га осущен сетью открытых канав с расстояниями между ними 60 м и закрытыми дренами через 30 м. На участке широко развиты болотные образования, представленные хорошо разложившимся древесно-

ТАБЛИЦА 94

Влияние внесения отходов (хвосты) на содержание питательных веществ (мг/кг) в пахотном слое почвы

Вид и доза удобрения	pH (солевоей)	Гидролитическая кислотность, мг-ЭКВ/100 г почвы	Дата наблюдения	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
ТМУ 80 т/га — контроль	5,57	1,95	25 мая 1 июля 30 июля 30 сентября	26,0 8,1 7,8 1,0	8,2 11,0 9,9 1,0	315 380 380 340	280 275 280 210
Контроль + хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	5,83	1,69	25 мая 1 июля 30 июля 30 сентября	54,6 17,8 11,4 6,4	25,0 12,7 15,1 2,1	1015 930 1010 500	405 410 325 300

ТАБЛИЦА 95  
Основные агрохимические свойства пахотного слоя торфяных почв

Показатели	Участок «Горелое» сельхоза «Кингисеппский»	Участок «Золотая долина» сельхоза «Красноозерный»
pH (солевой)	4,4	4,2
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы	57,7	46,8
N (легкогидролизуемый), мг/кг	168	не опр.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	150	73
K <sub>2</sub> O, мг/кг	130	25

осоковым торфом темно-бурого цвета, мощность торфа до 4 м и более. Водно-физические свойства пахотного слоя (0—20 см): плотность в сухом состоянии 0,270 г/см<sup>3</sup>; плотность в водонасыщенном состоянии 1,81 г/см<sup>3</sup>; полная влагоемкость 338,3%; зольность 25,86%; потери при прокаливании 74,14%. Участок характеризуется высоким содержанием железа: FeO до 20,71 и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 42,5 до 2979,2 мг/кг.

ТАБЛИЦА 96  
Влияние внесения хвостов в торфяную почву на урожайность  
сельскохозяйственных культур (участок «Горелое»  
сельхоза «Кингисеппский»)

Варианты опыта	1978 г. Овес сорта Золотой дождь				1979 г. Многолетние травы			
	Уро- жай, ц/га	Прибавка		Уро- жай, ц/га	Прибавка		Уро- жай, ц/га	Прибавка
		к контролю	к фону		к контролю	к фону		
		ц/га	%		ц/га	%		
Контроль	16,2	—	—	—	185,6	—	—	—
Фон: N <sub>10</sub> P <sub>15</sub> K <sub>37</sub>	20,1	3,9	24,0	—	226,1	40,5	21,8	—
Хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	21,6	5,4	33,3	7,6	265,9	80,3	43,2	17,6
Фон + хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	24,5	8,3	51,2	21,7	350,7	165,1	88,9	55,1

На участке было выполнено известкование в дозах 10 и 20 т/га. На части известкованной площади проведена структурная мелиорация с использованием в качестве мелиорантов пород обрамления торфяной залежи, состоящих в основном из песка и супеси. Дозы внесения пород составили 500—600 м<sup>3</sup>/га. На небольших участках в качестве мелиорантов были использованы отходы ПО «Фосфорит» в дозах 100 и 150 м<sup>3</sup>/га. Внесение отходов изменило реакцию почвенной среды pH (соле-

вой) с 5,0 до 5,90—6,85. Содержание подвижного фосфора повысилось в 5—8 раз. Внесение хвостов повысило урожай трав по отношению к контролю на 44,9 % (при дозе 100 м<sup>3</sup>/га) и на 53,8 % (при 150 м<sup>3</sup>/га), но по отношению к фону, где внесено 210 кг/га удобрения, было недобрано зеленой массы соответственно 38 и 31 ц/га (табл. 97). Здесь, как и в других опытах, применение мелиоранта значительно улучшило структуру торфяной почвы. При добавлении в нее минеральных удобрений это значительно повысило урожайность зеленой массы однолетних трав: на 167,9 к контролю и на 38,4 % к фону.

ТАБЛИЦА 97

Влияние внесения хвостов на урожайность однолетних трав  
(участок «Золотая долина», 1980 г.)

Вид и доза удобрения	Урожай, ц/га	Прибавка (+) или недобор (-)			
		к контролю		к фону	
		ц/га	%	ц/га	%
Контроль (почва)	78	—	—	—	—
Фон: почва + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	151	+73	+93,6	—	—
Хвосты 100 м <sup>3</sup> /га	113	+35	+44,9	-38	-25,2
Хвосты 150 м <sup>3</sup> /га	120	+42	+53,8	-31	-20,5
Хвосты 100 м <sup>3</sup> /га + фон	209	+131	+167,9	+58	+38,4

Как уже отмечалось, дозы отходов 100 и 150 м<sup>3</sup>/га незначительно улучшили структуру торфяной почвы, зольность которой составляла всего 25,86 %, поэтому были заложены другие опыты с внесением в торфянную почву пород обрамления в дозах 500—600 м<sup>3</sup>/га. Породы обрамления находились близко к опытным участкам (2—3 км), в то время как хвосты надо было привозить за 250 км. Урожайность однолетних трав на участках с внесением только извести повышается на 47 % (при 10 т/га) и 106 % (20 т/га) к контролю (табл. 98). При использовании же на производственной почве пород обрамления урожайность повышается на 137 и 220 % к контролю и на 62 и 55 % к фону.

**Экономическая эффективность.** Внедрение агрогеохимического метода повысит плодородие почв нечерноземной зоны, значительно сэкономит минеральные удобрения и оздоровит окружающую среду благодаря использованию отходов горнодобывающей промышленности. Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_g$  рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_g = (C_1 + 0,15K_1) - (C_2 + 0,15K_2),$$

где  $C_1$ ,  $K_1$  — скорректированные текущие и капитальные затраты по исходному варианту;  $C_2$ ,  $K_2$  — то же, по расчетному варианту; 0,15 — нормативный коэффициент.

За исходный вариант принято освоение почв без добавок мелиорантов, за расчетный — с внесением дозы 100 м<sup>3</sup>/га отходов

(хвостов) фосфоритового производства при перевозке их на 20—100 км, а для торфяных почв — с внесением пород обрамления торфяника при перевозке на 5 км (песок и супесь являются для торфяных и тяжелосуглинистых почв хорошими мелиорантами). Текущие расходы состоят из затрат на общую агротехнику и уборку урожая, отчисления на амортизацию и ремонт. Стоимость сельскохозяйственной продукции и ее уборки, а также перевозки автотранспортом принимались по существующим расценкам.

ТАБЛИЦА 98

Влияние известкования и внесения пород обрамления на урожайность зеленой массы однолетних трав (участок «Золотая долина»)

Доза извести и пород обрамления	Урожай, ц/га	Прибавка			
		к контролю		к известкованным участкам	
		ц/га	%	ц/га	%
Контроль (без извести)	85	—	—	—	—
Известь 10 т/га (фон I)	125	40	47	—	—
Известь 20 т/га (фон II)	175	90	106	—	—
Фон I + породы обрамления 500—600 м <sup>3</sup> /га	202	117	137	77	62
Фон II + породы обрамления 500—600 м <sup>3</sup> /га	272	187	220	97	55

Срок окупаемости дополнительных капитальных затрат на ускоренное окультуривание мелиорируемых земель зависит от расстояния перевозки мелиорантов, от их дозы внесения в почву, а также от возделываемых культур. Например, при использовании отходов ПО «Фосфорит» на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах совхоза «Федоровское», где опытными культурами были овес сорта Золотой дождь и однолетние травы, срок окупаемости составил от 3,0 до 4,2 года [91]; в совхозе «Кингисеппский», где возделывались овощи, этот срок снизился до 0,6—1 года; в совхозе «Родина» в опытах с картофелем сорта Гатчинский капитальные затраты окупились в течение одного сезона. Наиболее высокая эффективность получена при использовании в качестве мелиорантов пород обрамления торфяно-болотных почв совхоза «Красноозерный», где капитальные затраты на агрогеохимическую мелиорацию были не только покрыты в один сезон, но и принесли прибыль 136 руб./га.

Внедрение в практику агрогеохимического метода ускоренного окультуривания почв и повышения их плодородия требует предварительного проведения почвенно-агрогохимического картирования и составления карт разного масштаба, характеризующих качество почв и местных горных пород, рекомен-

дуемых в качестве мелиорантов. Среднемасштабные почвенно-агромелиорационные карты (1 : 600 000—1 : 1 000 000) составляются на территорию области и являются основой для планирования работ по коренной перестройке структуры почв и улучшения их водно-физических свойств агрогеохимическим методом. Крупномасштабные карты (1 : 10 000) составляются для отдельных совхозов и служат основой для работ по ускоренному окультуриванию мелиорируемых земель и по созданию крупных площадей высокоплодородных почв.

## ГЛАВА 11

### ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КАРТЫ СРЕДНЕГО МАСШТАБА — ОСНОВА ПЛАНИРОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ МЕЛИОРАЦИИ АГРОГЕОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Для планирования работ по структурной мелиорации с применением в качестве мелиорантов горных пород и отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности необходимо проведение почвенно-геохимического картирования почвенного покрова (масштаб 1 : 600 000 или 1 : 1 000 000) с выявлением горных пород, которые могли бы служить мелиорантами. В качестве примера можно привести почвенно-геохимические карты Ленинградской области масштаба 1 : 600 000 [2, 17, 29]. Эти карты составлены на основании детального комплексного исследования почвенного покрова и почвообразующих пород, что позволило определить природные свойства почв, их достоинства и недостатки (структурную, водно-физические и агрохимические свойства, наличие и дефицит различных микроэлементов, важных для жизнедеятельности растений, и т. д.). Изучение почвообразующих и более древних осадочных пород дало возможность выявить породы-мелиоранты, которые были использованы в полевых и производственных опытах с целью проверки их экономической эффективности.

В серию почвенно-геохимических карт Ленинградской области масштаба 1 : 600 000 вошли следующие карты.

**Геохимическая карта почв и почвообразующих пород.** Дает представление о строении почвенного покрова с характеристикой внутренних свойств почв, химического и механического состава почвообразующих пород [17]; отражает также состав и распределение микроэлементов по генетическим горизонтам почв различного типа.

**Карта геохимического районирования почвенного покрова.** Для составления этой карты [29] были проанализированы карты четвертичных отложений, а также гипсометрические и ландшафтные. Карта геохимического районирования является дополнением первой карты и дает представление о площадном

распространении разного типа почв и о распределении микроэлементов в пахотном слое почвенного покрова. Это позволяет провести инвентаризацию запасов микроэлементов в почвах и на этой основе решать вопросы, связанные с повышением их плодородия внесением доз соответствующих осадочных пород, способных устранить природные недостатки почв, обусловленные их плохой структурой и дефицитом химических элементов. Здесь также выделены районы, благополучные и неблагополучные в экологическом отношении, т. е. имеющие избыток или недостаток в почвах отдельных микроэлементов, что нарушает экологическую систему биосфера горные породы — почвы — растения — животные — человек. Карты показывают и антропогенное загрязнение почв.

Почвенный покров Ленинградской области разделен на четыре геохимических округа, которые в свою очередь подразделяются на 25 геохимических районов. В основу районирования положены литологические признаки, механический состав и геохимические свойства почв и почвообразующих пород, а также условия миграции в них микроэлементов (рис. 5). Выделены следующие почвенно-геохимические округа: 1) со слабой миграционной способностью микроэлементов в почвах, развитых на глинах; 2) с нижесредней миграционной способностью микроэлементов в почвах, развитых на карбонатной морене; 3) со средней миграционной способностью микроэлементов в почвах, развитых на бескарбонатной морене; 4) с высокой миграционной способностью микроэлементов в почвах, развитых на песках.

Концентрация микроэлементов в почвах зависит прежде всего от их содержания в почвообразующих породах. На количество же подвижных форм микроэлементов, которые определяют степень обеспеченности ими растений, влияют как валовое содержание микроэлементов, так и степень выветривания минеральной части почв — носителей микроэлементов. Процесс выветривания не остается постоянным в течение вегетационного периода, что связано с температурными условиями и количеством атмосферных осадков. Вследствие этого содержание подвижной формы микроэлементов может изменяться в значительно большей степени (в 2—4 раза), чем валовое содержание; коэффициент варьирования достигает 60—70 %. Однако тесная корреляционная связь между содержанием подвижных и валовых форм микроэлементов существует, что было отмечено рядом исследователей [36, 50]. Это дало основание при геохимическом районировании Ленинградской области за основу брать валовое содержание микроэлементов, которые подразделялись на полезные для растений, нейтральные и вредные (табл. 99). Отношение  $k$  содержания полезных микроэлементов к содержанию вредных является отличительным признаком геохимических районов (табл. 100). К полезным микроэлементам отнесены молибден, медь, цинк, никель, кобальт, бор, марганец; к вредным — бериллий, свинец, барий, стронций.

Геохимический округ почв, развитых на песках. Этот округ представлен десятью геохимическими районами. Почвы здесь содержат в среднем наиболее низкие концентрации всех микроэлементов при относительно низком коэффициенте  $k \approx 1,40$ . В Лужском геохимическом районе (VIII) в почвах отмечается повышенное содержание бора, марганца и некоторых нейтральных микроэлементов (ниобия, олова, циркония), содержание здесь вредных микроэлементов наиболее низкое. В рассматриваемом округе наиболее низкими значениями  $k$  характеризуются почвы Зеленогорского (III) и Любанско-Мгинско-Приладожского (XV) районов.

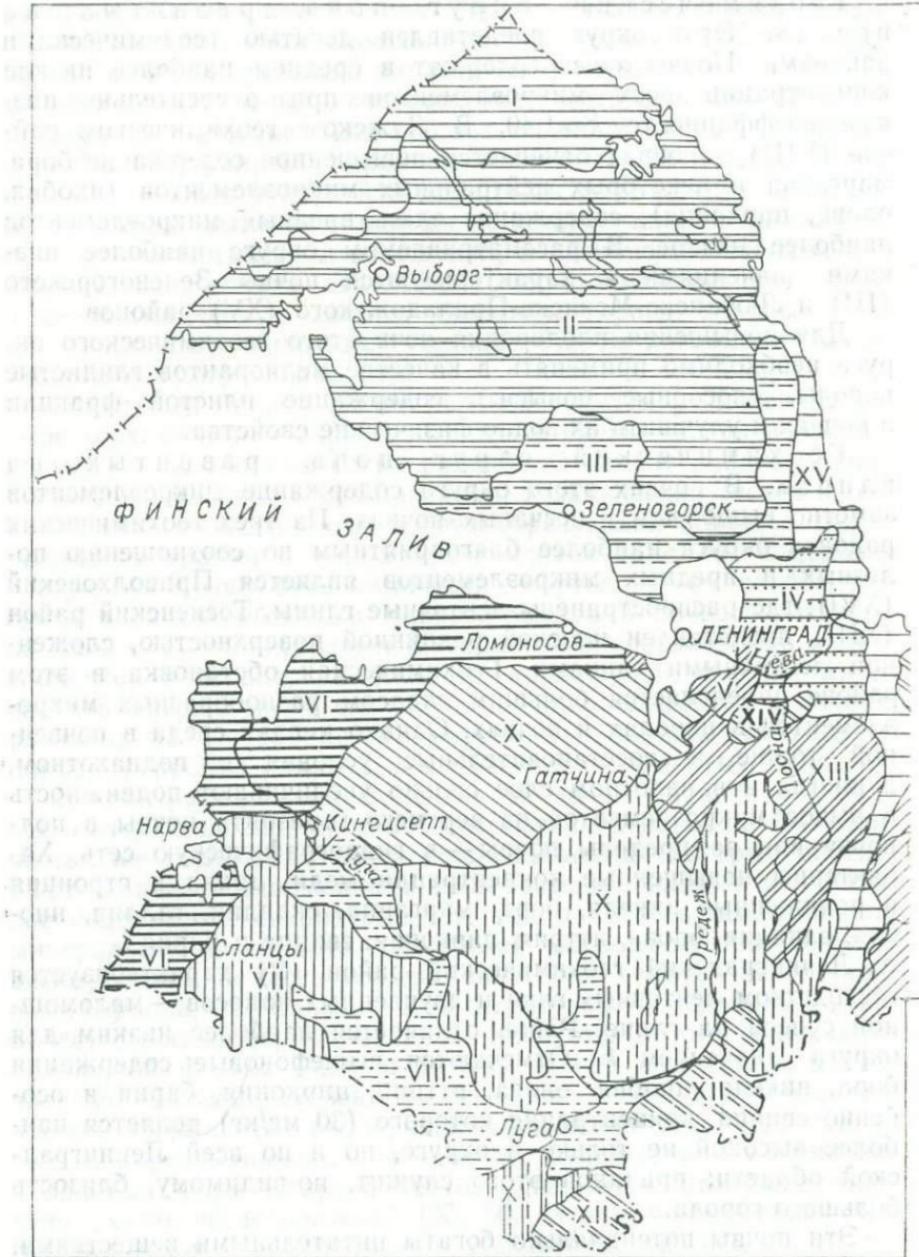
Для повышения плодородия почв этого геохимического округа необходимо применять в качестве мелиорантов глинистые породы, способные повысить содержание илистой фракции в почвах и улучшить их водно-физические свойства.

Геохимический округ почв, развитых на глинах. В почвах этого округа содержание микроэлементов заметно выше, чем в песчаных почвах. Из трех геохимических районов округа наиболее благоприятным по соотношению полезных и вредных микроэлементов является Приволховский (XVI), где распространены ленточные глины. Тосненский район (XIII) представлен плоской равнинной поверхностью, сложенной ленточными глинами. Геохимическая обстановка в этом районе определяется большим запасом разнообразных микроэлементов в породах и почвах. Однако кислая среда в почвенной толще и восстановительные условия в подпахотном, а иногда и в пахотном слое сильно увеличивают подвижность и вынос микроэлементов из верхнего горизонта почвы в подпочву или за пределы почвы — в гидрографическую сеть. Характерны повышенные концентрации меди, цинка и стронция и пониженные никеля, бора, марганца, скандия, галлия, ниobia, ванадия, олова, иттрия, циркония, свинца и бария.

Ленинградский геохимический район (V) характеризуется господством ленточных глин и двучленных наносов — маломощной супеси на глине. Район отличается наиболее низким для округа значением  $k$ . Отмечаются вышефоновые содержания бора, никеля, ниobia, олова, иттрия, циркония, бария и особенно свинца, концентрация которого (30 мг/кг) является наиболее высокой не только в округе, но и по всей Ленинградской области; причиной этого служит, по-видимому, близость большого города.

Эти почвы потенциально богаты питательными веществами, однако, несмотря на все усилия земледельцев, дают низкие урожаи. Для таких почв агрогеохимический метод структурной мелиорации предусматривает в качестве мелиорантов песчаные породы.

Геохимический округ почв, развитых на бескарбонатной морене. Этот округ подразделяется на восемь геохимических районов. Наиболее благоприятным соот-



ношением микроэлементов характеризуется Вепсовский район (XXIII), приуроченный к Вепсской возвышенности, имеющей холмистый рельеф. Вышефоновые содержания отличают молибден, медь, цинк, бор, ванадий; нижефоновые — никель, кобальт и все вредные микроэлементы, что делает этот район по соотношению полезных микроэлементов к вредным одним из



Рис. 5. Карта геохимического районирования почвенного покрова Ленинградской области (см. табл. 100).

Почвы, развитые на песках; высокая миграционная способность микроэлементов  
Районы: I — Выборгско-Сытогорский, II — Вуоксинский, III — Зеленогорский, IV — Невский,  
VI — Приморский, VIII — Лужский, XV — Любанско-Мгинско-Приладожский, XVIII — Северо-Тихвинский, XX — Соминский, XXI — Лодейнопольский.

Почвы, развитые на бескарбонатной морене; средняя миграционная способность микроэлементов

Районы: VII — Осьминский, IX — Лужско-Оредежский, XI — Городецкий, XVII — Южно-Тихвинский, XXII — Сясьско-Свирский, XXIII — Вепсовский, XXIV — Среднесвирский, XXV — Верхнесвирский.

Почвы, развитые на карбонатной морене; нижесредняя миграционная способность микроэлементов

Районы: X — Волосовский, XII — Череменецко-Оредежский, XIV — Путиловский, XIX — Ефимовский.

Почвы, развитые на глинах; слабая миграционная способность микроэлементов

Районы: V — Ленинградский, XIII — Тосненский, XVI — Приволховский.

ТАБЛ  
Среднее (фоновое) содержание микроэлементов (мг/кг)

Геохимический округ (породы, на которых развиты почвы)	Полезные							
	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	B	Mn	Сумма
Пески	1,1	22	63	7	8	28	759	888
Бескарбонатная морена	1,0	23	69	12	10	44	920	1079
Карбонатная морена	1,2	22	75	9	11	53	1125	1296
Глины	1,1	24	87	12	11	45	711	891
Среднее	1,1	23	73	10	10	43	856	1046

ТАБЛ  
Среднее содержание микроэлементов (мг/кг)

Геохимический район (см. рис. 5)	Полезные								Нейтр		
	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	B	Mn	Сумма	Sc	Ga	Nb
I	1,1	18	89	12	10	24	723	877	4	14	2
II	1,2	22	75	5	8	18	943	1072	0,4	10	4
III	0,9	17	64	3	5	16	690	796	—	10	7
IV	1,2	23	52	6	6	19	697	804	—	10	1
VI	2,0	18	65	9	8	12	907	1021	—	10	4
VIII	1,1	19	54	6	6	50	857	993	0,4	10	9
XV	0,8	18	45	3	6	28	643	744	—	10	9
XVIII	0,9	20	55	6	8	50	648	788	0,8	10	8
XX	1,0	21	67	8	9	43	724	873	5	10	7
XXI	1,0	42	61	7	14	23	754	902	—	10	—

Почвы, развитые

I	1,1	18	89	12	10	24	723	877	4	14	2
II	1,2	22	75	5	8	18	943	1072	0,4	10	4
III	0,9	17	64	3	5	16	690	796	—	10	7
IV	1,2	23	52	6	6	19	697	804	—	10	1
VI	2,0	18	65	9	8	12	907	1021	—	10	4
VIII	1,1	19	54	6	6	50	857	993	0,4	10	9
XV	0,8	18	45	3	6	28	643	744	—	10	9
XVIII	0,9	20	55	6	8	50	648	788	0,8	10	8
XX	1,0	21	67	8	9	43	724	873	5	10	7
XXI	1,0	42	61	7	14	23	754	902	—	10	—

Почвы, развитые

V	1,1	23	82	17	11	47	633	814	3	13	7
XIII	1,1	28	96	9	11	30	700	875	—	10	—
XVI	1,1	22	82	11	11	59	801	987	6	13	5

Почвы, развитые

VII	1,1	22	61	5	7	10	981	1087	0,5	9	8
IX	1,1	17	65	7	8	39	991	1128	—	10	10
XI	0,9	16	56	17	8	96	852	1046	2	12	10
XII	0,7	20	84	16	11	45	665	842	5	11	8
XXII	1,0	27	70	9	10	26	886	1029	2	10	4
XXIII	1,2	24	74	9	11	51	931	1101	3	11	5
XXIV	1,3	29	68	14	15	58	952	1137	2	12	1
XXV	1,2	28	74	15	13	30	1104	1265	1	10	—

Почвы, развитые на кар

X	1,2	21	74	8	10	33	1007	1154	3	11	8
XII	1,0	26	73	11	11	83	1160	1365	7	11	8
XIV	1,2	21	68	6	9	43	753	901	2	10	3
XIX	1,3	19	80	10	12	52	1579	1753	4	11	6

## И Ц А 99

в почвах геохимических округов Ленинградской области

Нейтральные								Вредные					Общая сумма	<i>k</i>	
Sc	Ga	Nb	V	Sn	Y	Zr	Сумма	Be	Pb	Ba	Sr	Сумма			
1	10	5	27	5	10	155	213	0,5	18	239	376	634	1735	1,40	
2	11	6	45	8	13	198	283	0,6	16	265	414	696	2058	1,59	
4	11	6	48	6	15	183	273	0,8	19	266	380	666	2235	1,95	
3	9	4	56	7	11	172	262	0,7	21	218	371	611	1764	1,46	
	3	10	5	44	7	12	177	258	0,7	19	247	385	652	1956	1,60

## И Ц А 100

в почвах разных геохимических округов

альные					Вредные					Общая сумма	<i>k</i>
V	Sn	Y	Zr	Сумма	Be	Pb	Ba	Sr	Сумма		

на песках

59	4	14	133	230	0,8	14	273	451	739	1846	1,19
23	7	11	123	178	0,7	21	268	391	681	1931	1,57
18	9	9	156	209	0,6	30	317	392	740	1745	1,17
13	6	7	90	127	0,4	25	229	449	703	1634	1,14
23	3	11	171	222	0,4	24	187	331	542	1785	1,88
22	8	12	217	278	0,3	12	178	311	501	1772	1,98
15	3	7	153	191	0,3	13	216	431	660	1601	1,13
31	6	12	218	286	0,4	14	228	388	630	1704	1,25
42	2	12	218	296	0,5	14	254	312	587	1756	1,50
22	5	8	71	116	0,4	15	235	300	550	1568	1,64

на глинах

58	9	17	187	294	0,6	30	246	343	620	1728	1,31
45	5	5	150	215	0,8	17	175	400	593	1683	1,48
64	6	12	180	286	0,7	16	234	371	622	1895	1,59

на бескарбонатной морене

31	6	13	203	269	0,5	16	168	247	432	1788	2,51
40	9	17	225	312	0,6	16	264	314	595	2035	1,90
73	10	18	240	365	0,9	14	300	344	659	2070	1,58
70	10	15	275	394	0,7	13	300	692	1006	2242	0,84
32	14	13	260	335	0,4	14	260	444	718	2082	1,43
58	6	9	155	247	0,6	14	227	286	528	1876	2,08
47	8	11	113	194	0,6	18	361	421	801	2132	1,42
39	3	8	109	170	0,4	19	238	560	817	2252	1,55

богатой морене

53	7	17	211	310	1,0	21	277	342	641	2105	1,80
60	7	19	219	331	0,8	15	294	300	610	2306	2,25
38	6	12	138	209	0,8	16	250	429	696	1806	1,30
53	3	11	166	254	0,5	23	243	450	717	2724	2,45

лучших в области ( $k=2,08$ ). Несколько выше коэффициент  $k$  для Осьминского (VII) района. Здесь вышефоновые концентрации устанавливаются для молибдена, марганца, ниобия, циркония; нижефоновые — для цинка, никеля, кобальта, бора, а также бария и стронция. Последнее обстоятельство повышает коэффициент  $k$  и делает его достаточно высоким (2,51).

Лужско-Оредежский район (IX) также имеет высокий коэффициент  $k=1,90$ . В составе почв отмечаются нижефоновые концентрации бора, цинка и низкое содержание вредных микроэлементов. В Южно-Тихвинском районе (XVII) установлен самый низкий коэффициент  $k=0,84$ , что связано с низкими концентрациями полезных микроэлементов и повышенными вредными, особенно стронция. По-видимому, накопление стронция обусловлено влиянием промышленности большого города.

Геохимический округ почв, развитых на карбонатной морене. Почвы этого округа характеризуются максимальной суммой микроэлементов при сравнительно низком содержании вредных, соответственно коэффициент  $k$  здесь высокий. В Ефимовском районе (XIX), расположенному на Тихвинской моренной гряде,  $k=2,45$ . Почвы содержат повышенные концентрации молибдена, цинка, никеля, кобальта, марганца, ванадия; из вредных элементов присутствуют свинец, стронций. Близкие значения  $k$  характерны для Череменецко-Оредежского (XII) и Волосовского (X) районов. Почвы здесь отличаются повышенной гумусностью, что делает их самыми лучшими землями Ленинградской области. Они, так же как и почвы Ефимовского района, богаты микроэлементами, особенно медью, цинком, никелем, марганцем, ниобием, ванадием, оловом, иттрием, цирконием. Нижефоновые концентрации отмечены для молибдена и свинца. Наиболее низкий коэффициент  $k=1,30$  установлен для почв Путиловского района (XIV). Территория района состоит из двух изолированных участков: Колпинского — к югу от г. Колпино и Староладожского — к югу от Ладожского озера. В почвах района отмечаются самые низкие концентрации полезных и нейтральных микроэлементов.

Несмотря на достаточную обеспеченность почв рассматриваемого округа микроэлементами для жизнедеятельности растений, плодородие этих почв оказывается ниже ожидаемого. Кроме излишней сухости эти карбонатные почвы обладают и другими неблагоприятными свойствами. Так, из-за карбонатности почв уменьшается подвижность микроэлементов, а следовательно, они становятся недоступными для растений, которые нередко заболевают хлорозом; картофель поражается паршой и другими болезнями, при этом снижаются вкусовые качества продукции. Для улучшения данных почв необходимо применять песчаные мелиоранты. Двучленные почвы с неглубоко залегающей карбонатной подпочвой, как и сильно лесовищированные почвы на моренах, могут быть улучшены путем

сверхглубокой вспашки с перемешиванием горизонтов и применением торфования.

Обращают на себя внимание повышенные концентрации в ряде геохимических районов токсичных микроэлементов — свинца, стронция, бария, что, по-видимому, связано с антропогенным загрязнением почв дымовыми отходами промышленных предприятий и выхлопными газами автомобилей вблизи многочисленных автострад.

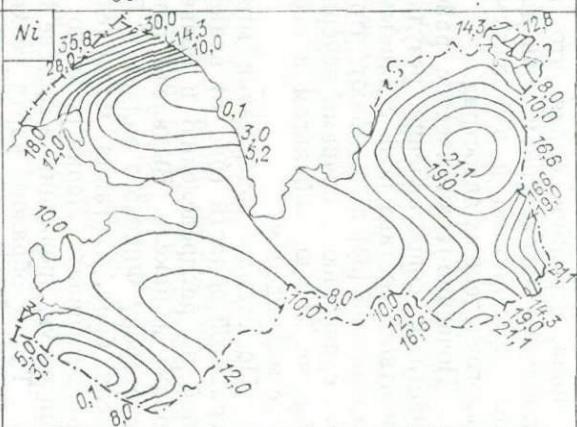
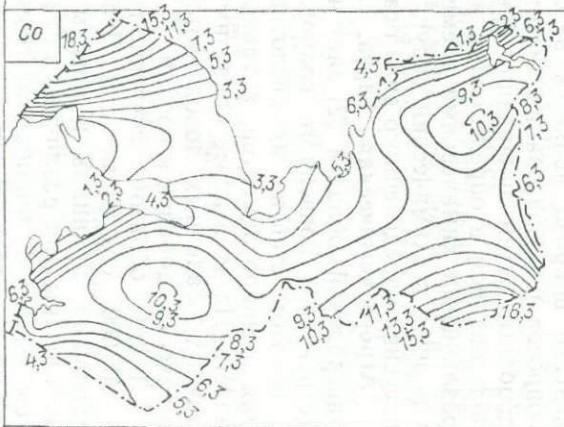
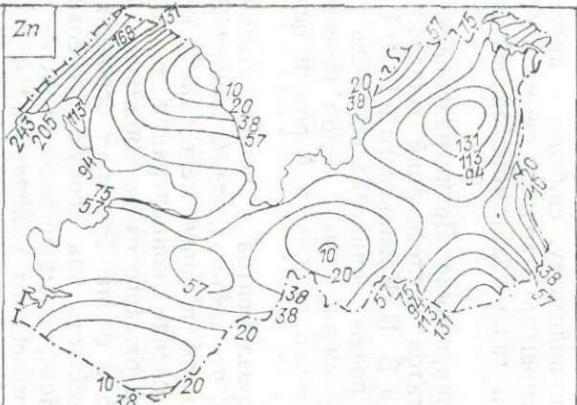
Почвенно-геохимическое районирование Ленинградской области и сопоставление результатов исследований микроэлементного состава почв с данными В. В. Ковалевского и Г. А. Андриановой [34] показывают, что почвы Ленинградской области по сравнению с почвами нечерноземной зоны в целом заметно богаче медью, кобальтом и особенно цинком и бором и беднее молибденом.

По схемам содержания микроэлементов в почвах Ленинградской области (рис. 6) видно, что весьма сходны между собой по распределению в почвенном покрове медь, цинк, кобальт и никель. Выявлено понижение концентрации с юга в сторону Финского залива и Ладожского озера кобальта, никеля, бора, марганца, молибдена и олова. Это дает основание рассматривать Ленинградскую область как особую биогеохимическую провинцию в составе Нечерноземной зоны РСФСР.

Таким образом, карта геохимического районирования почвенного покрова является важным документом при решении вопросов преобразования низкоплодородных почв в высокоплодородные путем ликвидации природных недостатков почв с использованием в определенных дозах осадочных пород, богатых различными химическими элементами. Почвы, входящие в тот или иной геохимический округ, требуют для своего улучшения внесения определенного вида осадочной породы.

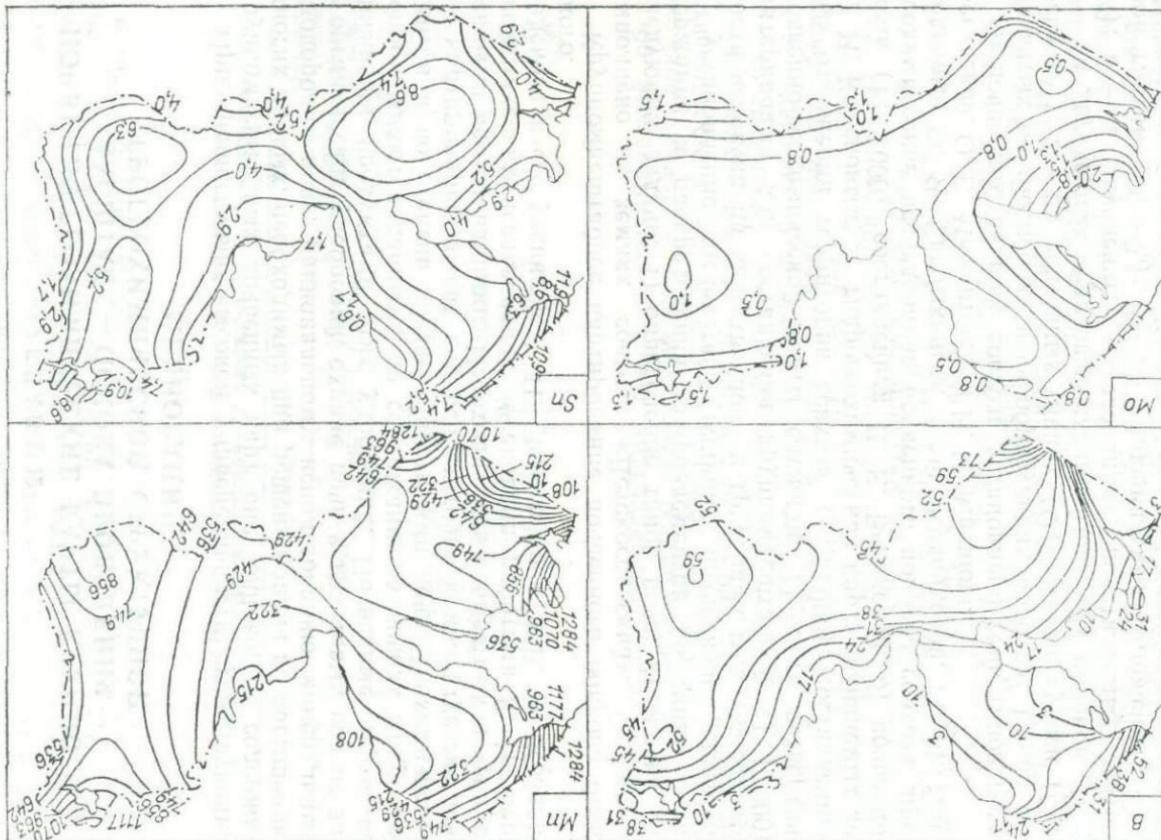
**Агрогеохимическая карта.** Агрогеохимическая карта Ленинградской области [2] дает четкое представление о составе (структуре) почвенного покрова и качестве пахотных земель с показом степени их кислотности, содержания фосфора, калия и микроэлементов, а также с оценкой почв в баллах бонитета. На этой карте показаны месторождения и карьеры различных осадочных пород, которые могут быть использованы в качестве добавок к почвам.

Таким образом, почвенно-геохимические карты масштаба 1 : 600 000, созданные для Ленинградской области, являются типовыми; принципы и методы их построения могут быть использованы для различных областей нечерноземной зоны с учетом климата, ландшафта, геоморфологических условий и наличия соответствующих осадочных пород (мелиорантов). Карты могут служить научной основой для рационального планирования землеустройства и преобразования почв, что должно обеспечить долговременные и устойчивые урожаи сельскохозяйственных продуктов. Для непосредственного проведения



#### **FACTS.**

Pinc. 6. CXEMH paccepjejhna corlepkahna xmnnekrx jsemehtor (mr/kr) a noqaxx Mfennprapackon 06-



структурной мелиорации агрогеохимическим методом требуется крупномасштабное картирование почвенного покрова в границах сельскохозяйственных предприятий.

## ГЛАВА 12

### ПОЧВЕННО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КАРТЫ КРУПНОГО МАСШТАБА — ОСНОВА ПРОВЕДЕНИЯ АГРОГЕОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРНОЙ МЕЛИОРАЦИИ

При сравнительно высокой универсальности существующих крупномасштабных почвенных карт они, однако, не содержат многих данных, необходимых при решении задач по повышению плодородия почв, рациональному использованию минеральных и органических удобрений, охране почв и грунтовых вод от загрязнения продуктами этих удобрений. Почвенные карты не сопровождаются данными по содержанию в почвах микроэлементов и по степени обеспеченности ими почв. Геохимическое же картирование до сих пор недостаточно комплектуется почвенными исследованиями. Необходимость совместных почвенно-геохимических исследований обоснована работами В. И. Вернадского и его учеников А. П. Виноградова и В. В. Ковалевского.

Крупномасштабное картирование почвенного покрова было выполнено на землях совхоза «Детскосельский». Ставились следующие задачи: 1) определение типов почв; 2) оценка содержания и распределения микроэлементов по типам почв; 3) установление последствий влияния интенсивной деятельности человека на качество почв и грунтовых вод. Основными материалами для составления крупномасштабной (1 : 10 000) почвенно-геохимической карты служили: 1) карта четвертичных отложений территории совхоза (1 : 10 000), составленная И. И. Красновым; 2) гидрогеохимическая карта орошаемых земель (1 : 10 000), составленная Е. Е. Беляковой; 3) почвенно-геохимические исследования почвенного покрова совхоза, проведенные Ф. Я. Сапрыкиным, А. Ф. Кулачковой, М. М. Лаврентьевой, О. В. Мамонтовой и Н. Н. Матинян.

В почвенном покрове совхоза установлено семь типов почв, развитых на различных почвообразующих породах: 1 — на морене ( $M$ ); 2 — на ленточных глинах ( $O_3$ ); 3 — на супеси ( $O_1$ ); 4 — на двучленных образованиях, подстилаемых мореной ( $O_1-M$ ); 5 — на двучленных образованиях, подстилаемых ленточной глиной ( $O_1-O_3$ ); 6 — на аллювиальных отложениях ( $A$ ); 7 — торфяно-болотные. Шестой и седьмой типы почв занимают небольшие участки. При площади совхоза 3200 га почвы представлены 28 разновидностями, что обуславливает достаточно большую мелкоконтурность.

Содержание микроэлементов в различных типах и подти-

пах почв неодинаковое. Среднее их содержание по всей площади в сравнении с кларками А. П. Виноградова показывает обедненность почв совхоза микроэлементами (табл. 101). Только медь и свинец превышают кларк, причем свинец — в 2,59 раза, являясь мерилом антропогенного загрязнения. Наиболее богаты микроэлементами по отношению к фоновому содержанию (коэффициент концентрации  $K$ ) пойменные дерново-легкосуглинистые почвы, развитые на аллювиальных отложениях ( $K=1,48$ ), и наиболее бедны почвы, образовавшиеся на супеси ( $K=0,58$ ).

ТАБЛИЦА 101

Сравнительная характеристика содержаний микроэлементов почв совхоза «Детскосельский» с кларками А. П. Виноградова [13]

Элементы	Содержание, мг/кг			Кларк по А. П. Вино- градову	Отношение среднего содержания к кларку
	Среднее	Мини- мальное	Макси- мальное		
Pb	25,92 ± 1,39	24,58	27,31	10	2,59
Mn	384,55 ± 14,39	366,16	394,04	850	0,44
Mo	1,06 ± 0,03	1,03	1,09	2	0,53
Cu	29,03 ± 0,65	28,38	29,68	20	1,45
Zn	46,73 ± 3,79	42,94	50,52	50	0,93
Ni	16,08 ± 0,61	15,47	16,69	40	0,40
Co	7,13 ± 0,27	6,86	7,40	8	0,82

Влияние почвообразующих пород и геохимической обстановки на концентрацию микроэлементов в почвах показано в табл. 102. Самыми бедными по содержанию микроэлементов являются дерново-слабоподзолистые иллювиально-гумусово-железистые супесчаные почвы ( $K_{ср}=0,60$ ). Геохимическая обстановка этого процесса почвообразования способствует в условиях кислой среды повышению миграционной способности большинства микроэлементов. Присутствие экранирующего горизонта в виде тяжелосуглинистой морены или ленточной глины значительно снижает их миграционную способность, что видно по возрастанию  $K_{ср}$  от 0,60 до 0,89 и 0,90. Все остальные типы почв содержат сумму элементов выше фоновой.

Микроэлементы из почвенного покрова выносят не только атмосферные осадки, но и поливные воды. Основными источниками воды для полива в совхозе являются р. Ижора, водоем (бывшее небольшое озеро) и специальные магистральные канавы. Для сравнения загрязнения поливных вод и вод дренажных канал были изучены подземные воды — из родников и питьевых колонок (табл. 103). Установлено, что все поливные воды обладают щелочной реакцией и по своей агрессивной способности к почвам могут быть разделены на две группы: 1) слабой углекислотной и умеренной общекислотной; 2) сильной и умеренной углекислотной. Кроме того, поливные воды,

ТАБЛИЦА 102

Коэффициенты концентрации  $K$  микроэлементов в почвах,  
развитых на различных породах и затронутых разными  
процессами почвообразования

Почвы	Почвооб- разующие породы	Число проб	Mo	Cu	Zn	Ni	Co	Mn	$K_{cp}$
Дерново-подзолистая	$O_1-M$	8	1,13	1,07	1,33	1,19	1,43	1,12	1,21
	$O_1-O_3$	55	1,08	0,99	0,85	1,08	1,02	0,95	1,00
Дерново-слабоподзо- листая глееватая	$M$	134	1,11	1,07	1,09	1,25	1,14	1,07	1,12
	$O_3$	66	0,98	1,07	1,15	1,39	1,30	0,82	1,12
	$O_1-M$	41	1,10	0,97	0,92	1,12	1,14	1,08	1,06
Дерново-слабоподзо- листая иллюви- ально-гумусово-же- лезистая супесчан- ная	$O_1-O_3$	48	1,04	1,02	1,04	1,25	1,14	0,77	1,04
	$O_1$	24	0,52	0,97	0,53	0,44	0,57	0,58	0,60
	$O_1-O_3$	78	0,94	0,99	0,86	0,82	0,86	0,87	0,89
	$O_1-M$	177	0,88	0,94	0,86	0,65	0,86	1,23	0,90
Пойменная дерново- иллювиальная	$A$	17	2,36	0,97	1,52	1,25	1,39	1,38	1,48
Торфянисто-болотно- подзолистая ос- вленная		2	0,80	1,01	1,08	1,38	1,39	1,18	1,14

ТАБЛ

Сравнительная характеристика поливных и подземных вод

Воды	Число проб	Формула ионного состава вод	рН	Окисляемость	
				мг/кг	$k_{ob}$
Подземные (фон)	5	$HCO_340. SO_439. Cl19. NO_22$ $Ca40. Mg38. Na18. K3. NH_41$	6,7—7,5 6,93	7,0—13 9	1
Река Ижора	3	$HCO_365. SO_416. CO_39. Cl9. NO_31$ $Ca46. Mg43. Na10. K1$	8,25	6	0,67
Водохранилище	8	$HCO_368. SO_416. Cl12. CO_33$ $Ca46. Mg38. Na13. K3$	8,00	10	1,1
Магистральные канавы	7	$HCO_363. SO_416. Cl16. NO_33. CO_32$ $Ca44. Mg38. Na13. K4$	7,4—10 8,26	7,9—17 11,8	1,3
Поливные теп- лиц и парников	16	$HCO_360. Cl60. SO_416. NO_33$ $Ca43. Mg34. Na17. K16$	8,25	11,0	1,2
Резервуар для полива парников	5	$SO_446. Cl42. HCO_311. NO_31$ $Ca50. Mg25. Na22. K3$	7,4	7,0	0,8
Дренажные канавы	12	$HCO_369. Cl28. SO_43$ $Mg37. Ca34. Na22. K7$	7,24—8,30 7,61	6,0—23,0 11,0	,2
Дренажные канавы около теплиц	6	$HCO_373. Cl19. SO_48$ $Ca48. Mg32. Na16. K4$	7,6	12,0	1,25

особенно из водохранилища, отличаются повышенными концентрациями нитратов, коэффициент обогащения  $k_{об}$  (по отношению к подземным водам) достигает 41,4.

Изучением содержания микроэлементов в минеральной составляющей подземных и поливных вод (табл. 104) установлены высокие концентрации калия в р. Ижора и особенно в поливных водах. Вынос микроэлементов из почв поливными водами определялся методом сравнения их содержания в минеральной составляющей поливных и дренажных вод; частное от деления этих содержаний в дренажных и поливных водах  $K_{вын}$  указывает на интенсивность выноса микроэлемента. Установлены следующие градации подвижности (выноса из почв) микроэлементов: интенсивная ( $K_{вын} \geq 5$ ); повышенная (2—4,9); умеренная (1—1,9); незначительная (0,01—0,99); отсутствие выноса, когда микроэлемент в минеральной составляющей дренажных вод не обнаружен. Для кобальта и никеля, которые в поливных водах не установлены, принята условная градация интенсивности их выноса по содержанию в минеральной составляющей дренажных вод: интенсивная ( $\geq 10$  мг/кг); повышенная (5—9,9 мг/кг); умеренная (1—4,99 мг/кг); отсутствие выноса (0,01—0,99 мг/кг). Для фосфора определена интенсивная градация — 500 мг/кг и выше.

#### И Ц А 103

совхоза «Детскосельский» (по данным Е. Е. Беляковой)

Минерализация		NO <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub>		NH <sub>4</sub>	
мг/кг	$k_{об}$	мг/л	$k_{об}$	мг/л	$k_{об}$	мг/л	$k_{об}$
84—110	1	не опр. — 1,7	1	не опр. — 0,2	1	не опр. — 0,7	1
95		0,7		0,04		0,4	
5,51	5,7	5,5—7,8	9,6	0,5—12,5	162	0,4	1
		6,7		6,5			
546	5,6	2,4—34	41,4	0,8—20	260	0,2	0,5
		29		10,4			
510—579	5,5	0,9—51	19,6	не опр. — 0,3	2,5	0,1—0,3	0,5
528		13,7		0,1		0,22	
531	5,1	13,3	19,0	не опр.	не опр.	0,1	0,25
69	0,7	0,68	1,0	»	»	0,1	0,25
475—560	5,5	34,4	49,1	2,23	55,6	2,7	8
522							
512	5,4	18,0	25,7	1,5	37,5	5,0	14

## Среднее содержание микроэлементов в минеральной составляющей

Воды	K	Mo
Подземные	12 300	0,2
	1	1
Река Ижора	5 800	—
	0,47	—
Водохранилище	17 000	1
	1,4	5
Магистральные канавы	21 340	1,3
	1,7	6,5
Поливные теплиц и парников	32 400	1
	2,6	5
Резервуар для полива парников	18 800	—
	1,5	—
Дренажные канавы	28 500	—
	2,3	—
Дренажные канавы около теплиц	70 000	—
	5,7	—

Примечание. В числителе — содержание микроэлемента, мг/кг; в знаменателе

При взаимодействии поливных вод с почвами происходят некоторые изменения в их общем ионном составе. На приподнятых участках рельефа поливные воды сохраняют почти повсеместно углекислотную агрессию к почвам и в очень незначительной степени обогащаются анионами сильных кислот как в результате их выщелачивания из почв, так и вследствие осаждения карбонатов кальция из растворов в осадок, в который выпадают также свинец, медь, кобальт и цинк. Водные растворы в какой-то мере обогащаются фосфором, чему способствуют гумусовые кислоты, с которыми, как показали исследования Ф. Я. Сапрыкина и А. Ф. Кулаковой [78], фосфор в достаточных количествах вступает в комплексные связи. Такими количествами фосфора для минеральной составляющей дренажных вод совхоза «Детскосельский» являются 500—1500 мг/кг, и только на одной третьей части площади в дренажных водах было установлено присутствие свободного фосфора.

Максимальная подвижность микроэлементов наблюдается при использовании поливных вод сильной и умеренной углекислотной агрессии к почвам (табл. 105). При поливе водами с углекислотной и общекислотной агрессией к почвам интенсивная подвижность отсутствует у свинца, никеля и кобальта, а при использовании вод сильной и умеренной углекислотной агрессии эти же элементы приобретают такую подвижность.

Cu	P	Zn	Ni	Mn
9,8	—	42	15,6	58
1	—	1	1	1
—	—	100	30	30
—	—	2,6	1,9	0,5
5	—	—	15	50
0,6	—	—	1,0	0,9
3,3	—	—	12,1	150
0,3	—	—	0,8	2,6
3	—	—	10	150
0,3	—	—	0,7	2,6
50	—	150	25	150
5,1	—	3,6	1,6	2,6
18	500	—	18,8	—
—	—	—	—	—
34	1500	—	25,0	—
—	—	—	—	—

ле — коэффициент выноса  $K_{\text{вын}}$ .

Миграция микроэлементов из почв при поливе теми или иными водами происходит по-разному. Так, у фосфора установлена миграция из почв в 31,2—33,3 % изученных проб, следовательно, в 66,7—68,8 % проб фосфор из почв не вымывается. При поливе пахотных земель водами первой группы все пробы дренажных вод показали наличие марганца, при этом для 62,4 % проб определена интенсивная и повышенная подвижность; при использовании же поливных вод второй группы интенсивная подвижность марганца составила 19,1 %, повышенная 38,2 % (в сумме — 57,3 %) и только 9,5 % проб дренажных вод показали отсутствие марганца. Наиболее устойчивыми к выщелачиванию из почв водами первой группы являются свинец (93,7 %), кобальт (68,8 %) и цинк (68,6 %). Устойчивость этих же микроэлементов уменьшается соответственно до 66,4; 47,6; 23,7 % при поливе водами второй группы. Обращает на себя внимание активная миграция из почв стронция при поливе водами как первой, так и второй группы: интенсивная и повышенная подвижность для вод первой группы равна 81,3 %, для вод второй группы — 76,2 %.

Исследовалось также содержание микроэлементов в минеральной составляющей вод и в донных осадках дренажных канав при поливе пахотных земель водами различной агрессивности к почвам (табл. 106). При этом сумма содержаний была принята за 100 %. Основная масса микроэлементов концен-

ТАБЛИЦА 105

Подвижность микроэлементов в процессе полива пахотных земель водами слабой углекислотной и умеренной общекислотной (первая группа) и сильной и умеренной углекислотной (вторая группа) агрессии к почвам

Элементы	Подвижность				
	Интенсивная	Повышенная	Умеренная	Низкая	Отсутствие
P	31,2	—	—	—	68,8
	33,3	—	—	—	66,7
Mn	31,2	31,2	25,0	12,6	—
	19,1	38,2	9,6	23,6	9,5
Mo	6,3	12,5	12,5	25,0	43,7
	9,5	33,3	19,1	33,3	4,8
Cu	12,5	18,8	36,6	25,1	6,9
	14,3	42,9	9,5	33,3	—
Pb	—	—	—	6,3	93,7
	19,1	4,8	9,6	—	66,4
Sr	56,3	25,0	6,3	6,3	6,1
	47,6	28,6	—	4,8	19,0
Ni	—	12,5	36,6	36,6	13,5
	9,6	42,9	19,6	19,6	8,0
Co	—	31,2	—	—	68,8
	4,8	14,3	33,3	—	47,6
K	—	12,5	75,0	12,5	—
	—	4,8	4,8	38,1	52,3
Zn	6,3	18,8	6,3	—	68,6
	4,8	9,6	57,1	4,8	23,7
Среднее	14,4 16,2	16,2 22,0	19,8 14,3	12,4 14,7	36,9 32,9

Примечание. Числитель — для вод первой группы, знаменатель — для вод второй группы.

трируется в донных осадках, при этом для поливных вод со слабой углекислотной и умеренной общекислотной агрессией к почвам (первая группа) в донных осадках находится 66 % весового количества микроэлементов, а для поливных вод сильной и умеренной углекислотной агрессии (вторая группа) — 56 %. Более сильной агрессивностью к микроэлементам почв отличаются поливные воды второй группы. В водах дренажных канав полностью растворяются и поэтому отсутствуют

ТАБЛИЦА 106  
Содержание микроэлементов в минеральной составляющей вод и в донных осадках дренажных канав  
в районах полива пахотных земель различными по составу водами

Поливные воды	Компонент дренажных вод	Mo		Cu		Pb		Zn		Ni		Co		Mn		Sr	
		МГ/КГ	%	МГ/КГ	%	МГ/КГ	%	МГ/КГ	%	МГ/КГ	%	МГ/КГ	%	МГ/КГ	%	МГ/КГ	%
Первая группа — воды слабой углекислотной и умеренной общекислотной агрессии к почвам	Минеральная составляющая вод	2	100	8	21	1,3	8,0	13	15,3	14	36,9	3	12,5	193	31,5	295	52,7
	Донный осадок	—	—	30	79	15,0	92,0	72	84,7	24	63,1	21	87,5	520	68,5	265	47,3
	Сумма	2	100	38	100	16,3	100	85	100	38	100	24	100	613	100	560	100
	Минеральная составляющая вод	3	100	15	30	5	23,8	14	11,7	44	58,6	5	18,5	383	58,7	242	50,8
	Донный осадок	—	—	35	70	16	76,2	106	88,3	31	41,4	22	81,5	269	41,3	234	49,2
Вторая группа — воды сильной и умеренной углекислотной агрессии к почвам	Сумма	3	100	50	100	21	100	120	100	75	100	27	100	652	100	476	100
		$\frac{3}{2}$	1,5	$\frac{50}{38}$	1,3	$\frac{21}{16,3}$	1,3	$\frac{120}{85}$	1,4	$\frac{75}{38}$	2,0	$\frac{27}{24}$	1,1	$\frac{652}{613}$	1,1	$\frac{476}{560}$	0,8

в донных осадках такие элементы, как молибден, калий и фосфор. Они способны мигрировать на далекие расстояния, чему способствуют гумусовые кислоты, образующие с этими элементами комплексные соединения. Повышенной подвижностью обладают стронций (при поливе водами первой группы — 52,7 %, второй группы — 50,8 %), никель (58,6 %), марганец (58,7 % при поливе водами второй группы).

Содержание нитратов и нитритов в грунтовых водах совхоза не превышает санитарных норм для питьевых вод, но отмечается повышенная щелочность поливных вод и высокое содержание в них калия, нитратов и нитритов. Например, в воде магистральной канавы в двух точках отбора установлена концентрация нитратов 29,9 и 51 мг/л. Дренажные воды содержат меньшее количество соединений азота, чем поливные воды. Это указывает на то, что загрязнение поливных вод происходит в основном отходами животноводческих ферм.

Пахотные земли совхоза «Детскосельский» относятся к высокоокультуренным. Дозы внесения минеральных удобрений составляют 3,0 ц ДВ/га (ДВ — действующее вещество) и органических 25 т/га, что дает возможность снимать высокие урожаи зерновых (31,8 % ц/га), овощей (311 ц/га), сена многолетних трав (65,5 ц/га). За период с 1967 по 1980 г., по данным О. Л. Веденина и В. А. Ксенофонтовой [10], установлено увеличение пахотного слоя и гумуса на 51,2 % в дерново-подзолистых почвах, развитых на бескарбонатной морене. В аналогичных почвах, образовавшихся на озерно-ледниковых и двучленных отложениях, содержание гумуса снизилось на 20—33 %. Предотвратить потерю гумуса и положить начало его приросту в почвах можно проведением структурной мелиорации с использованием в качестве мелиоранта местных глинистых пород (отвальные породы карьеров) или глауконитовых песков гидрослюдистого состава, выход которых есть на р. Ижора (территория совхоза «Федоровское»). Другой путь — повышение дозы органических удобрений до 35—40 т/га.

Составленная типовая крупномасштабная агрогеохимическая мелиоративная карта является основой для проведения работ по ускоренному оккультуриванию пахотных земель с целью получения почв с оптимальными водно-физическими и агрехимическими свойствами. На карте показаны все типы почв, содержание в них микроэлементов, выделены участки пахотных земель с различной степенью выноса микроэлементов под воздействием искусственного полива.

## МИНЕРАЛЬНЫЕ МЕЛИОРАНТЫ ДЛЯ СТРУКТУРНОЙ МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ

Горные породы и отходы горнодобывающей промышленности могут быть использованы как мелиоранты и заменители минеральных удобрений, если содержание фосфора или калия в них высокое (оболовый песок, металлургические шлаки и др.). Горные породы, способные улучшить структуру почв и их водно-физические свойства и применяемые для этих целей в больших дозах ( $100$ — $500$  м<sup>3</sup>/га), названы нами мелиорантами. Некоторые мелиоранты (оболовые пески) могут быть использованы и как заменители удобрений. Горные породы, пригодные к использованию их в качестве мелиорантов, широко распространены на территории Советского Союза, что позволяет применять агрогеохимический метод повышения плодородия в различных почвенно-геохимических зонах страны.

Минеральными мелиорантами могут служить породы как осадочного, так и магматического происхождения. К магматическим породам-мелиорантам относятся интрузивные и вулканические; к осадочным — различные карбонатные, глинистые, песчаные образования, а также горючие и углистые сланцы, бурые и каменные угли. Большинство горных пород не только улучшает структуру почв, но и пополняет их калием, фосфором, кальцием и многими микроэлементами, важными для жизнедеятельности растений [55]. Горные породы пористого строения (пемзы, вулканические шлаки, различные туфы) имеют исключительно важное значение для облагораживания почв с низкими водно-физическими свойствами. Как показали исследования З. А. Ацегорцяна и др. [1971 г.], пористая каменная масса аккумулирует в своих порах атмосферную и поливную влагу, а затем отдает ее корням растений по мере надобности; при этом улучшаются аэрация почв и температурные условия. Как показали наши исследования, очень хорошим мелиорантом, улучшающим водно-физические свойства дерново-подзолистых почв легкого механического состава, являются отходы производства шунгезита (его мелкие частицы).

Горные породы Северо-Запада РСФСР частично изучены как мелиоранты и доказана их экономическая эффективность при внесении в минеральные почвы в дозах  $100$ — $150$  м<sup>3</sup>/га и для торфяных почв —  $200$ — $500$  м<sup>3</sup>/га. Для Сибири и Дальнего Востока эта работа только начинается. Особо важное значение приобретает структурная мелиорация почв в районах БАМ, часть из которых находится в зоне многолетней мерзлоты. На территории горного обрамления всей Сибири и Дальнего Востока, как пишет Г. А. Кибанов [1981 г.], широко распространены вулканические шлаки, перлиты, различные туфы, сланцы, бурые угли. К естественным породам добавляются и техногенные, требующие утилизации. Только Гусиноозерская ГРЭС,

например, будет складировать ежегодно до 3 млн. т пористого стекловидного шлака.

Г. А. Кибановым были проведены опыты с использованием золы и шлаков паровозных топок для создания искусственных слоев в суглинистой почве на глубине 10—20 см; шлак измельчался до 1—2 см. Несмотря на засушливые 1978 и 1979 годы, на почвах с мелиорантом травы выросли даже без полива, а на контрольном участке без мелиоранта все травы выгорели. Искусственно созданный из мелиоранта подпочвенный слой в условиях многолетней мерзлоты является защитной «подушкой» от промерзания и оттаивания сезонно-мерзлотных грунтов. Для торфяно-болотных почв Сибири и Забайкалья хорошим мелиорантом могут быть породы, обрамляющие эти торфяники.

**Породы осадочного чехла.** Северо-западная часть Восточно-Европейской платформы, куда входит территория Ленинградской, Псковской и Новгородской областей, сложена в основном палеозойскими осадочными породами, моноклинально залегающими на сложно дислоцированных гранито-гнейсах кристаллического фундамента, которые выходят на дневную поверхность на севере Карельского перешейка — в пределах южной окраины Балтийского щита. Согласно исследованиям А. А. Плисова, Ф. Я. Сапрыкина [55] и А. А. Безукладнова [1980 г.] верхнепротерозойские песчано-глинистые отложения гдовского и котлинского горизонтов развиты на Каельском перешейке, по берегам Финского залива и Ладожского озера, а также севернее р. Свири. Отложения кембрия протягиваются полосой 5—20 км вдоль подножия Балтийско-Ладожского глинта от р. Нарва до р. Свири. Толща нижнего кембрия сложена синими глинами лонтовской свиты и песчано-глинистыми породами пиритской свиты люкатинского горизонта. Средний отдел представлен песчаниками тискрского горизонта. Обнажения кембрийских пород встречаются у подножия глинта в долинах прорезающих его рек.

Отложения ордовика общей мощностью 150—300 м развиты южнее Балтийско-Ладожского глинта и слагают ордовикское плато, протягивающееся полосой от 3—5 до 40—50 км от р. Нарва до р. Сясь. Нижняя терригенная часть ордовикского разреза представлена оболовыми песками, диктионемовыми сланцами пакерортского горизонта и глауконитовыми песками леэтского горизонта. Выше лежит карбонатная толща, сложенная глауконитовыми известняками волховского и кундского горизонтов, известняками с прослойями горючих сланцев таллинского и кукерского горизонтов, переслаиванием известняков и доломитов даверского, хрезинского, везенбергского и набольского горизонтов. Ордовикские породы обнажаются в склонах Балтийско-Ладожского глинта, по берегам рек Нарва, Плюсса, Волхов, Сясь и других рек и ручьев, пересекающих глинт. Они перекрыты только маломощной мореной в пределах Ижорской

возвышенности и вскрываются многочисленными карьерами, расположенными на ордовикском плато.

Отложения нижнего девона в разрезе отсутствуют. Средний девон представлен в нижней части известняками, мергелями и доломитами наровского горизонта, а выше песчано-глинистой толщей старооскольского горизонта и протягивается полосой шириной до 100 км от Псковского и Чудского озер до среднего течения р. Волхов. Ритмично построенная толща верхнего девона представлена чередованием карбонатных и карбонатно-глинистых пород трансгрессивных частей ритмов (снетогорские, псковские и частично чудские слои саргаевского горизонта, свинордские слои семилукского горизонта, бурегский горизонт, верхневоронежский подгоризонт, елецкий и лебедянский горизонты) с песчано-глинистыми породами регressiveных частей ритмов. При этом хорошо выражены фациальные изменения пород по площади. Морские карбонатные осадки верхнего девона южной и юго-западной частей территории сменяются прибрежно-морскими песчано-глинистыми осадками в северо-восточной части. В бассейнах рек Великая и Шелонь существовали лагуны, где отлагались доломиты, гипсы и лагунные глауконитовые глинистые пески. Отложения верхнего девона общей мощностью до 800 м обнажаются по рекам Луга, Оредеж, Великая, Шелонь, Мста, Волхов, Сясь, Оять и др.

На востоке территорию Ленинградской и Новгородской областей слагают породы карбона, нижний отдел которого начинается толщей визейского яруса — континентальными отложениями тульского (глины, бокситы, бурье угли) и алексинского (глины) горизонтов. Выше лежит ритмично построенная толща михайловского, веневского, тарусского и противинского горизонтов, нижние части которых представлены песчано-глинистыми отложениями регressiveных частей ритмов, а верхние — карбонатными породами их трансгрессивных частей. Отложения среднего карбона представлены известняками, доломитами и глинами верейского, каширского, подольского и мячковского горизонтов. Породы карбона общей мощностью до 370 м слагают карбоновое плато, ограниченное с запада эрозионным уступом, они обнажаются по рекам Рагуша, Мста и др.

На востоке Новгородской области на небольшой площади развиты красноцветные песчано-глинистые отложения татарского яруса верхней перми.

Вся рассматриваемая территория перекрыта чехлом четвертичных отложений различной мощности, в основном ледникового и водно-ледникового происхождения.

В районе Балтийско-Ладожского глинта большинство древних осадочных пород или выходит на дневную поверхность, или близки к ней (рис. 7). Они доступны для добычи и могут быть использованы в сельском хозяйстве как мелиоранты и заменители минеральных удобрений (табл. 107). Особого внимания заслуживают оболовые пески, богатые фосфором, которые

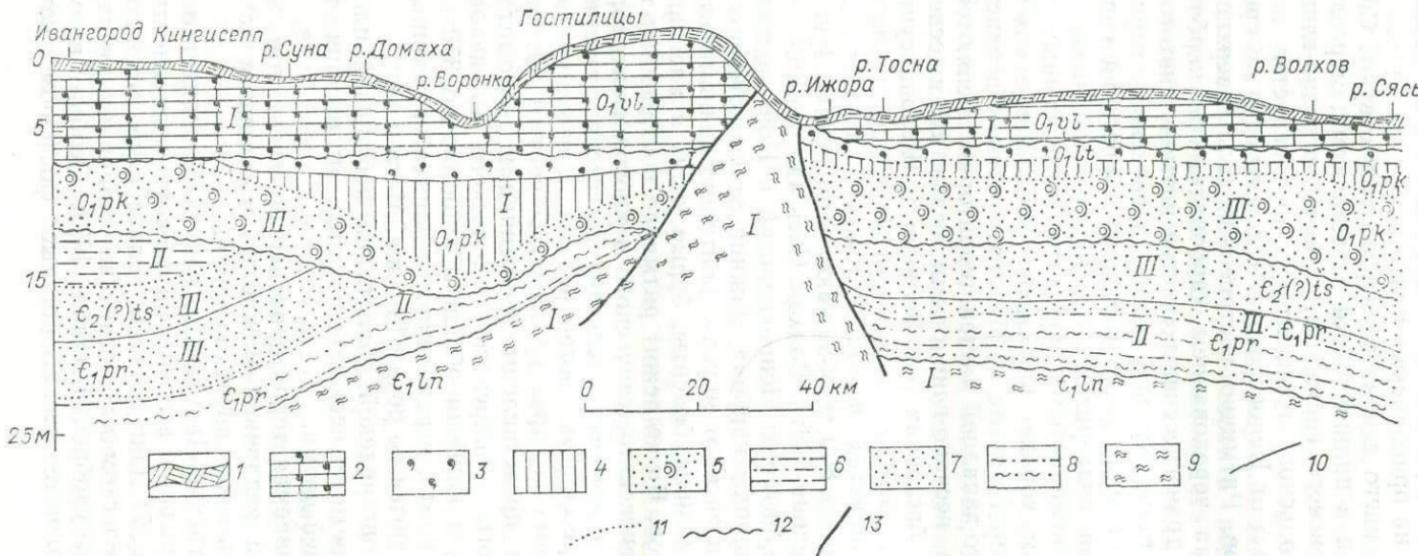


Рис. 7. Схематический литогеохимический разрез по линии Ивангород — р. Сясь.

1 — четвертическая система, моренные суглинки, почвенно-растительный слой; ордовикская система: 2 — волховский горизонт  $O_1vl$ , глауконитовые известняки, 3 — леэстский горизонт  $O_1lt$ , песчаники и алевролиты кварц-глауконитового состава, глауконитовые глины; 4, 5 — пакерортский горизонт  $O_1prk$  (4 — диктуномевые сланцы, 5 — слабые песчаники, переполненные обломками фосфатных раковин); кембрийская система: 6 — тискресская свита  $\epsilon_2(?)ts$ , кварцевые алевролиты, 7 — тискресская  $\epsilon_3(?)ts$  и пиритаская  $\epsilon_1pr$  свиты, песчаники кварцевые, 8 — пиритаская свита  $\epsilon_1pr$ , глины и алевролиты с глауконитом, 9 — лонтовская свита  $\epsilon_1ln$ , синие аргиллитоподобные глины; границы: 10 — горизонтов, 11 — литологические, 12 — несогласного залегания; 13 — разломы.

Геохимическая зона	Горизонт, свита	Mo	Cu	Ni	Co	Zn	Mn	B	Sr	Fe	K	$\Sigma$ (Mo + Sr)	$\Sigma$ K
III	O <sub>1</sub> pk E <sub>2</sub> (?)ts	9	40	11	2	30	200	23	900	5600	1700 1800	200—1250	1 700—1 800
	E <sub>2</sub> (?)ts	2	30	8	2	10	100	50	110	150	1800	350—600	8 000—25 000
II	E <sub>2</sub> (?)ts E <sub>3</sub> pr	1	12	20	6	25	90	444	110	110	24 000	10 000	600—1700
	E <sub>3</sub> pr	4	50	12	4	25	200	210	15	140	10 000	31 000—75 000	31 000—75 000
I	O <sub>1</sub> H O <sub>1</sub> pk E <sub>1</sub> ln	11	60	16	4	50	550	294	300	800	31 500	3000	74 600
	O <sub>1</sub> pk E <sub>1</sub> ln	46	220	37	6	37	1000	87	130	110	320	320	48 100

являются сырьем для получения фосфорных удобрений на Кингисеппском ГО «Фосфорит», а также глауконитсодержащие породы, представленные песками, песчаниками, глинами, мергелями, алевролитами. Общее содержание глауконитовых зерен, богатых калием, составляет 14—78 %. Химический состав глауконитсодержащих микроконкремций непостоянен. Так, содержание глинозема колеблется в пределах 4—10,5 %, окиси железа 14,0—31,5 %, закиси железа 1,2—10,4 %, калия 5,0—8,4 %, магния 1,2—5,0 %, кальция 0,6—7,0 %, фосфора 0,07—3,9 %.

Емкость катионного обмена глауконитсодержащих пород зависит от присутствия в них глинистых минералов и особенно гидрослюд. Глауконитсодержащие породы обладают высокой емкостью поглощения и являются ценным мелиорантами, особенно для почв легкого механического состава. При внесении в почвы эти породы не утяжеляют их механического состава, но значительно улучшают водно-физические свойства.

Особый интерес представляют диктионемовые сланцы, богатые фосфором (до 10 %), калием (до 7 %) и органическим веществом (10—20 %).

Мелиоранты четвертичного возраста включают большую часть почвообразующих пород, которые по своему вещественному и химическому составу и содержанию микроэлементов способны улучшить качество тех или иных почв и повысить их плодородие (табл. 108). Важным источником для получения мелиорантов являются вскрытые породы, занимающие вблизи карьеров большие площади земель, пригодных для сельского хозяйства. Ценным мелиорантам служат также отходы обогатительных фабрик разных горноперерабатывающих производств; в составе таких отходов имеются повышенные

ТАБЛ  
Содержание микроэлементов (г/т), фосфора и калия (%) в кембрий

Система	Отдел	Горизонт, срезы	Горные породы	Число проб	V	Mo	Sn
Ордовик	Нижний	Леэтский $O_{14}H$	Песчаники, алевролиты кварц-глауконитовые с прослойками глин	157	650	11	3,6
			Сланцы диктионемовые	199	221	46	1,5
		Пакерортский $O_{14}pk$	Песчаники кварц-лимонитовые, порода марказит-пиритовая	125	20	16	0,3
			Песчаники кварц-ракушняковые с частыми прослойками диктионемового сланца	120	420	61	1,7
			Песчаники кварц-ракушняковые разнозернистые с линзами ракушняка	180	48	9	1,0
	Средний (?)	Тискрская $\epsilon_{24}p_{15}$	Песчаники кварцевые тонко- и мелкозернистые, содержащие частные раковины <i>Obolus</i> и их обломки	150	9	7	0,6
			Песчаники кварцевые с частыми лимонитовыми стяжениями бобовидной формы	190	32	2	1,5
		Пиритаская $\epsilon_{14pr}$	Песчаники кварцевые тонко- и мелкозернистые	110	15	2	1,4
			Алевролиты, песчаники тонко-зернистые, глины глауконит-кварцевые	90	23	4	2,0
			Глины алевритистые, алевриты с частыми прослойками и линзами мелкозернистых песчаников глауконит-кварцевого состава	60	30	1,3	1,5
	Верхний	Лонтовская $\epsilon_{In}$	Глины аргиллитоподобные вязкие массивной текстуры с <i>Platysolenites</i>	180	34	2,0	1,7

И Ц А 107  
сих и нижнеордовикских органогенно-терригенных отложениях

	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Zr	Mn	Sr	B	$P_2O_5$	K <sub>2</sub> O
	60	9	50	4	16	100	550	300	294	1,18	3,15
	220	63	165	6	37	375	1000	130	87	3,27	7,46
	66	42	80	3	18	90	370	500	39	4,31	2,17
	87	123	300	2	50	220	15	не опр.	—	3,93	0,85
	40	19	30	2	11	170	200	900	23	3,66	0,17
	33	12	30	2	13	147	100	160	32	1,18	0,81
	11	4	5	3	6	500	160	не опр.	13	0,1	0,20
	30	6	10	2	8	260	100	»	50	<0,1	0,18
	50	8	25	4	12	220	200	15	210	<0,1	1,00
	42	4	25	6	20	150	90	не опр.	444	0,02	2,40
	32	6	120	7	15	150	50	не опр.	321	0,20	4,81

ТАБЛИЦА 108  
Средние содержания микроэлементов (мг/кг) в мелиорантах четвертичного возраста

Почвообразующие породы	B	Sc	Pb	Ga	Nb	V	Mo	Sn	Cu	Y	Zn	Ni	Co	Zr	B	Сумма
Глины																
Ленточные	1,6	11	28	21	9	156	1,6	10	58	29	181	59	19	172	65	821
Безвалунные (эвонцовые)	1,3	10	16	16	—	164	2,6	7	43	23	140	46	16	140	104	728
Морена																
Карбонатная	1,8	7	22	14	6	74	1,3	9	30	29	43	27	10	211	115	600
Бескарбонатная	1,2	2,6	12	14	8	80	1,3	12	32	24	87	21	11	200	120	626
Двучленные породы (песок или супесь)	7,0	5,5	14	12	7	65	1,3	6	33	22	56	26	9	205	70	539
Пески																
Камовые	0,6	—	12	11	6	28	0,8	9	15	10	46	15	8	186	40	387
Озерно-ледниковые	0,5	—	16	10	3	20	1,0	20	9	16	100	10	10	100	33	348
Флювиогляциальные	0,5	—	10	10	5	17	1,0	10	10	17	—	10	5	85	35	215

концентрации фосфора и микроэлементов, важных для жизнедеятельности растений.

Для Ленинградской области приобретают большое значение отходы (хвосты) обогатительной фабрики ПО «Фосфорит», занимающие площадь более 1000 га. В составе отходов концентрация фосфора ( $P_2O_5$ ) изменяется в пределах 1,5—2,0 %, а содержание песчаной фракции достигает 96 %. Эти отходы, если их использовать в качестве мелиорантов, способны улучшить структуру и водно-физические свойства тяжелосуглинистых почв на площади 50 000 га. Утилизация отходов, кроме того, позволит вовлечь освободившиеся земли в сельское хозяйство и улучшить окружающую среду.

Богатейшим резервом мелиорантов с повышенным содержанием фосфора являются забалансовые месторождения фосфоритов вдоль Балтийско-Ладожского глинта (табл. 109). Примене-

ТАБЛИЦА 109

Характеристика неразрабатываемых (забалансовых) месторождений фосфоритов (оболовых песков)

Месторождения	Запасы руды по категориям, млн. т		Средняя мощность полезной толщи, м	Глубина залегания, м	Среднее содержание $P_2O_5$ , %
	A + B	C <sub>1</sub>			
Котловское	—	87,9	2,5	10,8—24,8	4,7
Глядинское	—	42,2	1,7	8,0	5,0
Красносельское	99,0	—	2,9	24,3	7,8
Дудергофское	—	184,0	3,9	34,0	7,9
Федоровское	—	27,7	2,8	11,2	4,2
Поповка	31,3	—	2,7	6,6	4,7
Ульяновское	—	48,9	2,0	9,5—20,0	4,4
Чаплинское	—	143,0	4,9	12,5—28,8	4,1
Волхов — Сясь	—	47,0	2,4	12,9	4,2

ние оболовых песков в качестве мелиорантов не только улучшит водно-физические свойства тяжелосуглинистых почв, но и даст возможность значительно сэкономить фосфорные удобрения, вырабатываемые промышленностью. Наши производственные опыты по структурной мелиорации тяжелосуглинистых почв с использованием в качестве мелиорантов оболовых песков в дозе 100—150 м<sup>3</sup>/га показали, что в дальнейшем не требуется вносить в почву фосфорные удобрения в течение 8—10 лет.

Запасы оболовых песков забалансовых месторождений позволяют полностью обеспечить проведение структурной мелиорации тяжелосуглинистых почв не только Ленинградской области, но и прилегающих к ней территорий. В Эстонской ССР богатейшим месторождением оболовых песков является Маардуское, запасы которого значительно выше, чем в Кингисеппском месторождении. Потребителем отходов строящегося в Маарду комбината могут быть сельскохозяйственные организации как Эстонии, так и Псковской области.

Уже отмечалось, что особо ценным мелиорантом для улучшения водно-физических свойств как глинистых, так и песчаных почв являются глауконитсодержащие породы. Эти породы имеют широкое распространение на Русской платформе во многих меловых и палеогеновых отложениях (северо-восток Азовской антеклизы, восточная окраина Донбасса, южный склон Воронежской антеклизы). Глауконитсодержащие породы могут быть использованы как в пределах нечерноземной зоны, так и на суглинистых черноземах и песчаных почвах районов аридного климата, где они выступают в роли хранителя влаги. По данным Ю. Я. Кацнельсона [1981 г.], внесение глауконитового песка в качестве удобрений на виноградниках положительно повлияло на урожай и на качество посадочного материала. Глауконитовые породы на картофельных полях повышают урожай на 30 %; они эффективны также и при выращивании цветов. Установлено, что глауконит, находящийся в породе, стимулирует развитие полезной микрофлоры почвы, азотобактерий (на 60—120 %), актиномицетов (на 25—100 %), грибов (в 1,2—3 раза).

## ГЛАВА 14

### ТВЕРДЫЕ ГОРЮЧИЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ОТХОДЫ ИХ ДОБЫЧИ — ЗАМЕНители ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

Органическое вещество почв является питательной средой для микроорганизмов, благотворно влияющих на рост растений. В виде щелочных солей гуминовых кислот оно стимулирует рост растений, повышая урожайность и улучшая качество сельскохозяйственной продукции. Кроме того, органическое вещество улучшает структуру почв и удерживает минеральные удобрения от выноса.

Твердые горючие ископаемые, к которым принадлежат бурые и каменные угли, в своем развитии прошли торфяную стадию. В своей основе они имеют гумус, по природе сходный с гумусом современных торфов, и поэтому получили название гумусовых ископаемых углей. К горючим ископаемым принадлежат также и горючие сланцы, основой горючего вещества которых является сапропель древних эпох, аналогичный во многом сапропелю современных озер и торфяников.

Исследованиями советских и зарубежных ученых доказана возможность применения бурых и окисленных каменных углей, горючих сланцев, отходов обогатительных фабрик в качестве комплексных органоминеральных удобрений, а золы от их сжигания — в качестве заменителей извести при нейтрализации кислых почв. Угли и горючие сланцы ценные не только своим органическим веществом, но и минеральными компонентами.

В минеральной их части содержатся макроэлементы, к числу которых относятся кальций, магний, железо, алюминий, марганец и др. Внесение их в почву улучшает ее структуру, нейтрализует кислые почвы, способствует жизнедеятельности растений. Наиболее ценным компонентом минеральной части углей и горючих сланцев являются микроэлементы, которых насчитывается 16 и более. В составе горючих ископаемых больше, чем в почвах, и тех микроэлементов, которые служат стимуляторами роста сельскохозяйственных растений. Таким образом, угли и горючие сланцы могут быть использованы в сельском хозяйстве как комплексное органоминеральное удобрение.

Их преимущество перед современными торфами состоит в более широком распространении по всей территории Советского Союза, в хорошо развитой промышленной добыче, особенно открытым способом. В сельском хозяйстве могут быть использованы и угли с нерабочей мощностью угольных пластов, а также хвосты обогатительных фабрик. Одновременно можно применять отходы ряда промышленных предприятий, в том числе по переработке сельскохозяйственных продуктов (сахарные заводы) и бумажно-целлюлозных, что значительно облегчит задачу охраны чистоты водоемов и рек.

**Сапропели.** Исходным материалом сапропелей является флора и фауна озер и морей, которые в результате деятельности анаэробных микроорганизмов прошли путь биохимического превращения животного и растительного планктона и бентоса и образовали донные отложения сапропелевого характера, резко отличающиеся от торфяника химическим составом органической и минеральной частей. Формирование современных сапропелей тесно связано с торфяными болотами и в ряде случаев предшествует их появлению на месте древнего заросшего озера. В зависимости от характера пород областей сноса сапропели обогащены минеральными компонентами либо кремнеземного, либо известковистого, а чаще всего смешанного состава.

Сапропели, используемые для удобрений, в зависимости от содержания органического вещества делятся на три группы: I — истинные, выше 50 %; II — обедненные, от 10 до 50 %; III — минеральные илы, до 10 % [80] (табл. 110). Органическая часть сапропелей богата азотом, часть которого принадлежит белкам (20—40 %); содержание углеводов изменяется от 5 до 33 %, жиров — от 0,2 до 0,5 %. Гуминовые кислоты содержатся в пределах 9—60 %, их количество связано с участием растительного материала и с дополнительным привносом гумусового вещества в озера. Применение сапропелей в качестве удобрений весьма эффективно, что обусловлено наличием в них ведущих микроэлементов.

Рекомендуется учитывать следующие обстоятельства: 1) хорошо оккультуренные почвы требуют небольших доз сапропеля, и положительно отзываются на навозно-сапропелевые ком-

посты; 2) почвы со слабо выраженным гумусовым горизонтом, плохо или слабо оккультуренные, активно реагируют на сапропелевые удобрения; 3) известковые сапропели особенно цепны для кислых дерново-подзолистых глеевых и луговых почв; наличие магния увеличивает эффективность сапропелей, особенно при таких культурах, как клевер и кормовая капуста; 4) на бедных подзолистых и глеевых почвах при недостатке навоза целесообразно использовать сапропели в виде сапропеле-навозно-дерновых и других компостов; навоз можно заменить торфом, пропущенным предварительно через скотный двор.

**Содержание микроэлементов (мг/кг)  
в сухом веществе сапропелей**

Микроэлементы	Среднее	Пределы
Co	5	0,7—12,2
Mn	200	54,0—910,0
Cu	15	7,5—25,6
B	9	1,0—37,2
Mo	20	1,5—47,0
Zn	44	28,1—59,7
I	1,5	1,3—6,3
Br	20	6,0—58,0

В опытных и производственных условиях сапропелевые удобрения испытаны при нормах внесения от 10—15 до 75—150 т/га в зависимости от реальных особенностей сапропелей.

ТАБЛИЦА 110  
Химический состав сапропелей различных групп [80]

Показатели	Группы		
	I	II	III
Содержание золы, %	<50	50—90	>90
pH солевой	7—8,5	6,5—7,5	4,0—6,5
Состав абсолютно сухого вещества, %			
Nобщ	1—5	≤2	≤1,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,26—0,75	0,1—0,5	≤0,5
K <sub>2</sub> O	0,1—0,75	0,5—1,5	≤0,5
CaO	<20	<48	≥10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6—12	2,5—3,5	8—29
Содержание песчаных фракций 0,05—1 мм, %	<5	5—50	50—75

Наличие сапропелевых отложений устанавливается как в озерах, так и в торфяных месторождениях; подсчет запасов производился нами по каждому виду залежей (табл. 111). Следует отметить, что сапропели озер изучены лучше, чем сапропели торфяников, что, по-видимому, отразилось на определении запасов. Запасы всех видов сапропелей по стране составляют 53,32 млн. м<sup>3</sup>, при этом 85,6 % запасов приходится на сапропели

ТАБЛИЦА III  
Запасы сапропеля в озерах и торфяных месторождениях

Республики	В озерах				В торфяниках				Сумма запасов	
	Число озер	Площадь сапропелевых отложений, тыс. га	Запасы сапропеля		Число торфянников	Площадь сапропелевых отложений, тыс. га	Запасы сапропеля		млн. м <sup>3</sup>	%
			млн. м <sup>3</sup>	% от общих запасов			млн. м <sup>3</sup>	%		
РСФСР	606	16 646	36,34	79,6	714	164	3,28	43,0	39,62	74,3
Украинская ССР	10	1	4,54	10,0	43	3	0,20	2,6	4,74	8,9
Белорусская ССР	125	33	1,28	2,8	217	41	0,29	3,8	1,57	3,0
Литовская ССР	59	16	0,33	0,7	131	24	0,46	6,0	0,79	1,5
Латвийская ССР	90	19	0,41	0,9	184	24	0,47	6,0	0,88	1,6
Эстонская ССР	188	140	2,75	6,0	252	158	2,97	38,6	5,72	10,7
<b>Всего</b>	<b>1078</b>	<b>16 855</b>	<b>45,65</b>	<b>100</b>	<b>1541</b>	<b>414</b>	<b>7,67</b>	<b>100</b>	<b>53,32</b>	<b>100</b>

ТАБЛИЦА III2  
Средний групповой химический состав (%) органической массы) современных и ископаемых торфов и бурого угля

Компоненты	Торф		Бурый уголь
	Современный	Ископаемый	
Битум	5,7	5,4	7,0
Воднорастворимые и легкогидролизуемые вещества	30,2	19,4	2,4
Редуцирующие вещества	16,5	10,1	0,9
Гуминовые кислоты	33,4	41,6	62,7
Фульвокислоты	13,8	15,4	10,1
Целлюлоза	5,2	3,4	1,1
Лигнин	10,3	17,5	18,8

пель озер и 14,4 % на сапропель торфяников. На долю РСФСР приходится 74,3 % всех запасов сапропеля.

**Бурые и окисленные каменные угли.** Отличительной особенностью бурых углей от каменных является наличие в их составе гуминовых кислот, количество которых убывает по мере увеличения степени углефикации. Содержание гуминовых кислот в молодых бурых углях достигает 70 % и более, а в переходных к каменным не превышает 1 %. Количество углерода в бурых углях колеблется в пределах 64—78 %, водорода 4,0—6,5 %, азота 0,8—2,2 %, серы 0,1—5 % и выше. По групповому химическому составу бурые угли мало отличаются от современных и ископаемых торфов (табл. 112).

Каменные угли подвержены процессам окисления, глубина которых зависит от местоположения угольного пласта по отношению к дневной поверхности, от степени метаморфизма и климатических условий. По мере удаления угольного пласта от земной поверхности уменьшается влияние процесса выветривания, и на какой-то глубине это влияние прекращается. Процессам окисления в первую очередь подвержено гелифицированное вещество угля; продуктом его окисления являются гуминовые кислоты, фульвокислоты и органические кислоты простого строения. Содержание этих продуктов зависит от степени окисления.

Так, в зоне окисления длиннопламенных углей месторождения Джергалан выход гуминовых кислот составлял 30—70 % на органическую массу, а у бурых углей — до 90 %. По данным Т. А. Кухаренко [1972 г.], выход гуминовых кислот из окисленных каменных углей Кузбасса колеблется от 71,3 до 3,2 %. В составе водных вытяжек окисленных молодых каменных углей Кызыл-Кийского месторождения установлено 10,7 % фульвокислот. Окисленные бурые угли содержат до 30 % фульвокислот, которые по своим свойствам похожи на фульвокислоты почв и торфов. Отсюда следует заключить, что природа гелифицированного вещества гумусовых углей и гумуса почв одна и та же и их различие состоит только в степени углефикации. Природные процессы выветривания гелифицированного вещества ископаемых углей качественно приближают это вещество к гумусу почв.

Угольные месторождения и бассейны СССР (табл. 113) по качеству углей, угленасыщенности и возрасту угленосных отложений весьма разнообразны.

На долю каменных гумусовых углей приходится около 60 % всех запасов, на бурые угли и лигниты — 40 %. Если считать, что выветрелые угли составляют 0,1 % всех запасов, то получим достаточно большое количество углей, пригодных для использования в качестве удобрения.

Ископаемые угли ценные не только как сырье для производства органического удобрения. Не менее полезной является минеральная часть угля, представленная как основными породо-

образующими химическими элементами, так и микроэлементами. В составе ископаемых углей преобладают окислы кремния, содержание которых достигает 60 %. Максимальное содержание окислов алюминия составляет 35,4 %, железа — 31,7 %, кальция — 20,9 %, магния — 4,9 %. Золы углей, содержащие повышенные количества кальция, могут быть использованы для раскисления почв. Важное значение для жизнедеятельности растений имеет алюминий, а также магний.

ТАБЛИЦА 113  
Распределение геологических запасов углей по регионам СССР

Регион	Всего, млрд. т	В том числе окисленных	
		млрд. т	% от общих запасов
Европейская часть СССР	507,3	0,507	6,53
Урал	6,9	0,007	0,09
Казахстан и Средняя Азия	160,8	0,161	2,07
Западная и Восточная Сибирь	6850,6	6,851	88,24
Дальний Восток	238	0,24	3,07

Самым ценным компонентом минеральной части углей являются микроэлементы. Из 20 микроэлементов, изученных нами в углях Советского Союза, здесь приведем данные только по восьми (табл. 114), роль которых в жизнедеятельности растений установлена.

ТАБЛИЦА 114  
Среднее содержание микроэлементов (мг/кг) в золе углей основных бассейнов и месторождений СССР (по результатам изучения более 175 000 проб; данные Ф. Я. Сапрыкина)

Бассейн, регион	V	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Pb	Sn
Подмосковный	18,1	16,3	16,4	6,0	60,7	1,9	43,5	2,5
Донбасс	37,1	5,0	14,7	27,0	46,9	6,2	1,9	0,4
Западный Донбасс	10,1	3,6	7,4	38,8	42,6	1,2	76,3	—
Днепровский	2,2	9,4	20,1	4,5	1,8	11,6	—	0,2
Кавказская группа	160,7	19,8	58,3	52,4	114,2	3,6	17,0	0,3
Свердловская область	45,0	11,9	47,2	32,0	56,0	0,3	10,0	2,0
Челябинский	39,6	20,2	35,4	39,4	26,0	2,4	32,0	1,2
Восточно-Уральский	53,0	24,1	90,6	39,0	9,2	2,2	23,0	3,5
Южно-Уральский	391,0	5,0	36,6	31,5	0,3	0,6	16,6	6,4
Карагандинский	93,1	7,2	14,2	2,8	32,9	2,4	11,1	1,2
Средняя Азия	138,1	7,1	15,5	—	39,4	4,2	33,8	6,5
Кузбасс	14,0	6,7	13,4	—	26,1	3,7	28,6	1,2
Канско-Ачинский	5,4	12,2	14,5	0,2	15,2	2,7	13,0	0,9
Дальний Восток	16,9	6,4	56,0	—	7,8	2,6	10,0	2,6

ТАБЛИЦА 115

Средний химический состав (%) золы горючих сланцев некоторых месторождений и содержание в ней микроэлементов (мг/кг), важных для жизнедеятельности растений

Бассейн, месторождение	Содержание органического вещества, %	$A^c$ , %	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	V	Co	Ni	Cu	Mo
Прибалтийский												
Эстонское	40,0	47,6	27,7	7,0	4,7	48,0	3,8	17	сл.	6,0	6	12
Ленинградское, Гдовское	40,0	54,8	21,6	6,0	4,2	55,0	5,8	168	—	20,0	10	—
Волжский	32,8	31,8	22,0	21,2	6,7	39,9	6,3	109	сл.	45,8	10	60
Кашпирское		59,3	41,0	15,0	6,5	29,5	2,5	82	22,1	66,0	не опр.	5
Новодмитриевское		71,0	4,2	11,9		30,7	11,9	55	55,0	20,0	150	—
Байсунское	16,7	75,5	43,0	16,5	9,5	13,5	2,1	2990	121,7	1217	65	2007
Белорусские		65,0	36,0	11,2	6,0	31,9	0,9	30	сл.	15,2	не опр.	53
Воронье-Волосковское		60,5	49,7	15,7	6,2	17,1	2,6	55	—	не опр.	»	150
Менилитовые (УССР)		94,5	64,9	12,9	5,9	0,8	1,4	327	81,2	327,0	55,0	0,8
Припятское			43,0	12,5	18,6	18,2	2,0	32	сл.	49,3	не опр.	76
Болтышское								50	5,9	42,0	»	39

**Горючие сланцы.** Геологические запасы горючих сланцев в СССР по состоянию на 1965 г. оценивались в 156 млрд. т [Мельников Н. В., 1971 г.]. По мере увеличения добычи нефти и ее переработки снизился интерес к горючим сланцам как сырью для получения искусственного топлива и различных химических продуктов. Возросла возможность использования горючих сланцев в качестве комплексного органоминерального удобрения. Содержание кремнезема в золе горючих сланцев колеблется в пределах 4,2—49,7 %, глинозема 6,0—21,2 %, двуокиси железа 4,2—18,6 %, окиси кальция 13,5—55,0 %, окиси магния — 0,9—11,9 % (табл. 115). На особом положении находятся менилитовые сланцы, зольность которых достигает 94,5 % при высоком содержании кремнезема (64,9 %). Но эти сланцы богаты микроэлементами, и в частности ванадием (327 мг/кг), никелем (327), кобальтом (81,2), медью (55). По высоким концентрациям микроэлементов выделяются также горючие сланцы Байсунского месторождения, в которых содержание ванадия достигает 2990, никеля — 1217, молибдена — 2007 мг/кг.

## ГЛАВА 15

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БУРЫХ И ОКИСЛЕННЫХ КАМЕННЫХ УГЛЕЙ В КАЧЕСТВЕ КОМПЛЕКСНОГО ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ

Запасы углей Советского Союза на 1965 г. составляют 7765,8 млрд. т, в том числе каменных 4504,5 млрд. т и бурых 3260,8 млрд. т. На окисленные угли приходится примерно 0,1 % запасов, или 7,77 млрд. т. Запасы горючих сланцев равны 156 млрд. т [Мельников Н. В., 1971 г.]. Месторождения ископаемых углей и горючих сланцев имеются в большинстве районов страны, что облегчает транспортировку окисленных углей, пригодных в качестве заменителей органических удобрений, к ближайшим сельскохозяйственным предприятиям (совхозы, колхозы).

За последнее время получил широкое распространение открытый способ добычи угля, что дает возможность использовать отвалы с повышенным содержанием органического вещества, которые образовались за счет маломощных пластов и пропластков, не удовлетворяющих промышленной кондиции.

Намечаются два пути использования гумусовых ископаемых углей в сельском хозяйстве. Первый, предложенный Т. А. Кухаренко, Л. А. Христевой и др. [41, 86, 87], предусматривает применение гуминовых кислот бурых и окисленных каменных углей в качестве стимуляторов роста растений. Он основан на благоприятном воздействии гуминовых кислот на урожайность. Содержание гуминовых кислот, особенно в молодых бурых углях, доходит до 70 % [82].

Воднорастворимые соли гуминовых кислот усваиваются растениями, при этом они повышают интенсивность обмена веществ в растительных тканях, усиливают рост корней и повышают степень усвоения элементов минерального питания, содержащихся в почве. Под влиянием гуминовых кислот повышается способность растений переносить воздушную засуху, улучшается их кислородное питание. Не являясь источником углеродной или зольной пищи, гуминовые кислоты участвуют в общем обмене веществ в растениях, стимулируя их жизнедеятельность.

Исследования советских ученых, почвоведов, агрономов, углехимиков по применению гуминовых удобрений в различных климатических зонах Советского Союза в виде воднорастворимых гуматов или твердых углегуминовых и сложных органо-минеральных соединений (углекарбонатные, гумофос, гумофоска) показали, что эти соединения являются прекрасными удобрениями, увеличивающими урожайность сельскохозяйственных культур на 20—30 % и более [87—89].

Установлено, что гуминовые кислоты ископаемых углей выполняют следующие функции: 1) способствуют повышению влагоемкости и образованию мелкокомковатой структуры почвы, устойчивой против размыва водой; 2) разлагают трудноусваиваемые растениями минеральные соли и переводят их в усвояемые; 3) улучшают обменную способность почв; 4) влияют на их буферные свойства; 5) входят в состав органоминеральных удобрений, изготовленных из навоза, компоста, торфа и бурых углей; 6) усиливают аппарат клетки, ответственный за передачу информации при синтезе белков, т. е. оказывают влияние не только на рост клеток и ускорение развития, но и на дифференциацию тканей и качество продукции.

Углегуминовые удобрения и стимуляторы роста растений многократно применялись на опытных полях для выяснения их агробиологической эффективности. Однако производство их весьма сложно и требует создания специальной химической промышленности с дробильными установками, высокотемпературной варкой исходного сырья в щелочных растворах с последующими реакциями осаждения, нейтрализации, фильтрации и т. д. Технология производства требует большого расхода пара и электроэнергии. Кроме того, при производстве этих удобрений используется только меньшая часть бурых и окисленных каменных углей (гуминовые кислоты), а не менее важная их часть — остаточное органическое вещество и минеральные компоненты, богатые микроэлементами, — уходит в хвосты (отвал), создавая еще одну проблему по их утилизации. Все это заставило отказаться от производства углегуминовых удобрений и стимуляторов роста растений.

Второе направление использования бурых и окисленных каменных углей путем механического смешения их с органическими и минеральными добавками (отходы разных произ-

водств) для получения комплексного органоминерального удобрения должно найти более широкое распространение. Благодаря высокой адсорбционной способности бурые и выветрившиеся каменные угли могут применяться для улучшения структуры почв. Совместное внесение их с минеральными удобрениями сохраняет почвы от вымывания.

Уголь, если его смешать с навозом и навозной жижей, способствует длительному хранению этого удобрения, богатого азотно-калийными компонентами. Компостированные с минеральными удобрениями и навозом отходы буроугольной промышленности повышают урожай сахарной свеклы, пшеницы, овса, ржи, льна, кукурузы, гороха, томатов и других культур. Кроме того, они улучшают питание растений, поглощают в почвах токсические для микрофлоры выделения, создают более благоприятный микробиологический режим в почвах, особенно для клубеньковых бактерий.

Большое практическое значение в качестве комплексного органоминерального удобрения имеют углетуки — смесь ископаемых углей с минеральными удобрениями. При их испытании (Иркутский государственный университет) было установлено повышение урожая пшеницы на 30 %, кукурузы — на 50 %, сахарной свеклы — на 40 %.

В Чехословакии профессор Я. Кашпар (J. Kochpar) предложил использовать бурые угли и лигнины в смеси с отходами и сточными водами заводов — крахмально-паточных, спиртовых, кормовых дрожжей, сульфатной целлюлозы и газовых, которые имеют высокое содержание аммиака [92]. Для ферментации смесей привлекались микроорганизмы с известными физиологическими функциями, активность которых можно регулировать.

Биоминеральные удобрения получают путем смешения сорбентов с нейтрализующими веществами в червячных транспортерах с помощью ковшовых экскаваторов. Смесь доводится до  $pH = 6,5 \div 7,2$ . Она должна иметь необходимую влажность и достаточное содержание ростковых веществ. Заквашивание смеси осуществляется с участием специальных почвенных бактерий. Затем в течение трех-пяти недель смесь проходит стадию ферментации в кучах высотой до 3 м. Культура бактерий выделяется из естественных источников (почвы, торфа) и выращивается на отработанных сточных водах паточной промышленности. Бактерии способствуют деаминации — созданию усвояемой растениями формы азота, а также выработке нужных для роста растений веществ, как, например, индолилуксусная кислота.

Таким образом, Я. Кашпар разработал и ввел в практику новый метод регулирования физических и химических параметров почв — при помощи биоминеральных удобрений. В основу этого метода положено представление о ведущем влиянии на урожайность сельскохозяйственных культур почвенных сорбентов — органоминеральных коллоидов, которые служат поглоти-

телями и держателями необходимых растениям химических удобрений. Изучение сорбционной способности бурых углей показало, что даже малое их количество повышает способность почв с кислой активной реакцией удерживать минеральные удобрения и микроэлементы (кобальт, никель, марганец, медь и др.), препятствуя их вымыванию из почвы [19, 92]. Благоприятное действие на структуру тяжелосуглинистых почв оказывает зола углей и сланцев, пополняя их рядом микроэлементов, фосфором, калием, а также кальцием, снижающим кислотность почв.

Отходы буроугольной промышленности в смеси с навозной жижей использовались в ФРГ [Lobel H., Kullmann A., Starasta K., 1978 г.]. Положительные результаты дает применение бурого угля в смеси с отходами доменного производства. Отходы углеобогатительных фабрик Донбасса, содержащие от 6 до 17 % органического вещества, использовались как органические удобрения на эродированных черноземах в дозах 10; 15 и 20 т/га. Прибавка урожая зерновых составила от 2,1 до 5,2 ц/га. Установлено повышение активности процесса гумификации в пахотном слое. В слабокислых черноземах, образованных на лессовидных суглинках, при внесении этих отходов содержание гуминовых кислот возросло почти в 1,5 раза [Акентьева Л. И., 1976 г.].

Флотохвосты коксохимического производства использовались в качестве органического удобрения на супесчаном черноземе в дозе 5 т/га и дали положительные результаты в повышении урожайности [Горобец М., 1976]. Подсчитано, что применение бурых углей в качестве сорбентов дает экономический эффект до 32—48 руб./га [Докучаева Д. Н. и др., 1978 г.]. Многолетний и плодотворный опыт Чехословакии в использовании бурых углей, лигнитов, отходов ряда промышленных производств в качестве комплексного органоминерального удобрения должен быть обязательно внедрен в сельскохозяйственную практику нашей страны. Высокие содержания микроэлементов в составе углей повышают ценность природных органоминеральных удобрений.

## ГЛАВА 16

### ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ПОЧВ

В. И. Ленин в обращении «К населению» писал: «Берегите, храните, как зеницу ока, землю...»\*. В наши дни охране окружающей среды уделяется все большее внимание. Важное значение приобретает научно обоснованное рациональное использование природных богатств.

\* Ленин В. И. Полное собрание сочинений. Т. 35. М., Политиздат, 1977, с. 67.

Техническая политика должна базироваться не на ликвидации вредных последствий вмешательства в природу, а на устраниении самих причин загрязнения окружающей среды, для чего необходимо создавать безотходную технологию с замкнутыми циклами. При проектировании крупных сооружений, водоемов, гидроэлектростанций, изменения направления течения рек следует тщательно исследовать возможные последствия этих строек на ландшафтную обстановку и всю экологическую систему (усиление водной и ветровой эрозии, подъем уровня грунтовых вод, изменение их химического состава, преобразование состава растительности, ареалов животных и т. д.).

**Защита почв от загрязнения.** Для предупреждения эрозии и для повышения продуктивности земель нечерноземья П. С. Трегубов [83] предлагает провести ряд мероприятий (табл. 116). Чтобы уменьшить загрязнение почвенного и растительного покрова пылевыми и дымовыми выбросами, необходимо: 1) перевести все промышленные предприятия на безотходную технологию с замкнутыми циклами, при этом следует повысить эффективность очистных сооружений; 2) в зоне полного разрушения экосистемы (5—6 км) начать ее рекультивацию путем посевов волоснца песчаного (*Elanus arenarius*), выдерживающего самые сильные загрязнения [Крючков В. В. и др., 1980 г.]; 3) в зоне 6—20 км от промышленного предприятия проводить рекультивацию посредством посадки лиственных кустарников и деревьев (ива, осина, ольха), занимающих второе место после волоснца песчаного по устойчивости к загрязнению.

Для защиты сельскохозяйственных угодий от выхлопных газов автомобилей вблизи крупных автострад с интенсивным движением необходимо создавать растительные защитные полосы, ширина которых (10—30 м) зависит от интенсивности движения на автостраде и направления господствующих ветров. Все виды растений в полосах должны быть устойчивыми к загрязнителю, экологически пластичными и регионально (географически) специфичными, т. е. характерными для конкретного региона. Каждая защитная полоса представляет собой сочетание трех параллельных кулис, составленных различными биоморфами: первая (от дороги) формируется травянистыми растениями, вторая — кустарничками, третья — деревьями (табл. 117).

На полях, находящихся близко от автострад, рекомендуется следующее размещение сельскохозяйственных культур. В краевых (прикулисных) частях полей следует выращивать культуры или быстро вегетирующие (редис), или срезаемые на силюс (клевер, злакобобовые травосмеси, горох); из овощных — длительно вегетирующие, у которых в пищу используются подземные части растений (морковь, репа). Вдали от автострады (100 м и более) размещаются овощные культуры, у которых идут в пищу надземные части (капуста, томаты, укроп, салат,

ТАБЛИЦА 116

Мероприятия по предупреждению эрозии и повышению  
продуктивности земель в разных природных зонах Нечерноземья [83]

Природная зона	Почвы	Мероприятия
I. Полярно-тундровая (Архангельская и Мурманская области, Коми АССР)	Арктические и тундровые глеевые	Регулирование поголовья оленей и использование пастбищ, предупреждение уничтожения почвы при хозяйственном освоении территории
II. Лесотундровая северо-таежная (Архангельская и Мурманская области, Карельская и Коми АССР)	Глеевато-подзолистые и мерзлотно-таежные	То же, что и в зоне I, а также предупреждение повреждения снежного и растительного покрова на инсолованных склонах, регулирование снеготаяния, тепловая мелиорация, обеспечение растений легкоусвояемыми формами азота, фосфора, калия
III. Среднетаежная (южная часть Архангельской области и Коми АССР, северная часть Вологодской и Ленинградской областей, часть Карельской АССР, Кировская, Пермская и Свердловская области)	Подзолистые, преимущественно суглинистые и песчаные избыточно увлажненные	Регулируемый сброс воды на пашне и пастбищах, сочетание почвозащитных и мелиоративных мероприятий, тепловая мелиорация, обеспечение растений легкоусвояемыми формами азота, фосфора, калия
IV. Южнотаежная лесная (южная часть Вологодской и Ленинградской областей, Карельская АССР, Новгородская, Калининградская, Владимирская, Ивановская, Калининская, Костромская, Смоленская и Ярославская области, часть Брянской, Калужской, Московской, Рязанской, Горьковской, Кировской, Пермской и Свердловской областей, Марийской и Удмуртской АССР)	Дерново-подзолистые суглинистые увлажненные, избыточно увлажненные и болотные	Зяблевая вспашка поперец склонов, бороздование, регулирование снеготаяния и сброса талых и ливневых вод, внесение повышенных доз удобрений, борьба с кислотностью, дифференциация агротехники с учетом смытости почв, сочетание осушительных, обводнительных и противовэрозионных мероприятий, залужение сильно эродированных земель

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

Природная зона	Почвы	Мероприятия
V. Лесостепная (Орловская и Тульская области, часть Брянской, Калининской, Московской, Рязанской, Горьковской, Пермской и Свердловской областей, Мордовской, Чувашской и Удмуртской АССР)	Серые лесные, в южной части оподзоленные, выщелоченные и типичные черноземы	Агролесомелиоративные и гидротехнические мероприятия, полевые и специальные почвозащитные севообороты и противоэрозионные технологии, возделявание сельскохозяйственных культур полосами, вслашака с почвоуглублением и безотвальное глубокое рыхление, прерывистое бороздование зяби, внесение повышенных доз удобрений, залужение сильно эродированных земель, регулирование снегонакопления и снегоготовления

ТАБЛИЦА 117

Степень устойчивости растений нечерноземной зоны  
по отношению к загрязнителям (по данным  
В. С. Николаевского [1975 г.], В. М. Яценко и др. [1975 г.])

Биоморфы	Устойчивые	Среднеустойчивые	Неустойчивые (чувствительные)
Деревья	Вяз обыкновенный. Клен американский	Липа мелколистная. Клены — татарский, остролистный. Тополи — серебристый черный, бальзамический	Береза бородавчатая. Ясень
Кустарники	Бересклет европейский. Лох серебристый. Ивы — козья, белая, голубая	Сирень обыкновенная. Кизильник блестящий. Карагана. Бузина красная. Боярышник. Смородина черная. Ольха	Спирея калинолистная. Рябина обыкновенная. Роза морщинистая. Жимолость татарская
Травы	Овсяницы — луговая, овечья, красная. Мятлики. Полевицы. Ежа сборная. Вьюнок. Васильек синий	Алиссум фиолетовый. Гречиха сахалинская	Тимофеевка. Некоторые костры

петрушка). В этой же зоне следует высаживать и культуры с большой листовой поверхностью: свеклу, картофель, турнепс и др. Необходимо помнить, что многие элементы в повышенных концентрациях являются ядами (цинк, свинец, кадмий, никель, кобальт). Эти элементы накапливаются преимущественно в кожице корнеплодов и фруктов, поэтому перед употреблением в пищу их следует обмыть и очистить.

Необходимо изучать поведение тяжелых металлов в разного типа почвах, чтобы нейтрализовать их и предохранять растения от проникновения этих элементов. В этом направлении получены некоторые результаты. Установлено, что потоку элементов — загрязнителей почвы и растений противостоит буферность почв, препятствующая накоплению подвижных форм поступающих в почву вредных элементов [26]. Тонкодисперсные минеральные частицы и органические вещества являются основными создателями буферности. Следовательно, почвы тяжелого механического состава, богатые органическим веществом, обладают большой буферностью, а почвы легкого состава — малой буферностью. Тяжелые металлы взаимодействуют с гуминовыми кислотами, образуя либо гуматы, либо комплексные соединения. Если гуматы легко отдают катионы, то комплексные соединения требуют для своего разрушения большой энергии. По прочности хелатной связи тяжелые металлы распределяются следующим образом:  $Zn > Cu > Mn > Mo$ .

На основании литературных данных и исследований В. С. Аржанова и П. В. Елпатьевского [4] сделан вывод, что микроэлементы в почвах могут находиться в трех формах: истинно растворимой, коллоидной и взвеси.

#### Распределение (%) тяжелых металлов по трем формам их нахождения

Металлы	Истинно растворимая	Коллоидная	Взвесь
Cu	38,75	10,20	41,05
Zn	92,20	2,20	5,60
Pb	57,25	10,63	32,12

Разделение соединений микроэлементов по степени дисперсности частиц свидетельствует об их сложной генетически различной химической природе. Для лизиметрических растворов, формирующихся под влиянием антропогенных геохимических факторов, когда основная часть микроэлементов имеет аэроалоготехногенный генезис, характерны более высокие концентрации микроэлементов, чем для природных почвенных вод, при этом в верхнем горизонте они различаются на один-два порядка, особенно высоки содержания свинца и цинка.

Рассмотрим формы нахождения тяжелых металлов в лизиметрических растворах различных горизонтов почвенного разреза (табл. 118). В истинно растворимом состоянии находятся основная масса цинка (92,2 %) и более половины свинца

ТАБЛИЦА 118

Распределение тяжелых металлов по трем формам их нахождения  
для разных почвенных горизонтов

Разрез	Горизонт, глубина за- ложения ли- зимстра	Форма нахождения элемента	Cu		Zn		Pb	
			МКГ/Л	%	МКГ/Л	%	МКГ/Л	%
29	<i>A<sub>0</sub></i> 5 см	Истинно раствори- мая	8,2	62,1	518	93,1	156,8	75,7
		Коллоидная	1,8	13,6	27,3	5,0	37,3	18,0
		Взвесь	3,2	24,3	11,3	1,9	13,0	6,3
		Истинно раствори- мая	4,8	21,6	50,1	83,8	48,0	48,2
	<i>A<sub>1</sub></i> 15 см	Коллоидная	1,6	7,2	2,0	2,6	2,2	2,3
		Взвесь	15,8	71,2	8,2	13,6	49,2	49,5
		Истинно раствори- мая	1,2	8,0	33,4	74,2	11,0	24,4
		Коллоидная	1,2	8,0	1,0	2,3	5,9	13,1
22	<i>A</i> 8 см	Взвесь	12,8	84,0	10,6	23,5	28,1	62,5
		Истинно раствори- мая	2,6	22,2	883	93,6	24,7	57,0
		Коллоидная	2,0	17,1	36,0	3,9	5,7	13,0
		Взвесь	7,1	60,7	22,5	2,5	13,0	30,0
	<i>B</i> 55 см	Истинно раствори- мая	6,9	13,5	2388	95,8	12,5	7,0
		Коллоидная	8,7	17,0	92,6	3,7	66,3	37,0
		Взвесь	35,5	69,5	12,5	0,5	100,0	56,0
		Истинно раствори- мая	59,8	52,7	6900	99,1	12 080	96,5
30	<i>A<sub>1B</sub></i> 8 см	Коллоидная	8,0	7,0	20,6	0,3	2,5	0,05
		Взвесь	45,7	40,3	39,8	0,6	432	3,5
		Истинно раствори- мая	85,8	88,7	826	99,0	5 200	97,7
		Коллоидная	1,9	2,0	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
	<i>B<sub>1</sub></i> 45 см	Взвесь	9,0	9,3	8,3	1,0	124,0	2,3
		Истинно раствори- мая	14,9	41,2	1759	99,1	450	72,2
		Коллоидная	3,5	9,7	не опр.	не опр.	10,0	1,6
		Взвесь	17,8	49,1	15,7	0,9	163,0	26,2

(57,25 %); большая часть меди мигрирует в составе взвеси (41,05 %). В разрезах 29 и 22 наблюдается уменьшение с глубиной содержания истинно растворимой формы меди; в разрезе 30 в почвенном горизонте *B<sub>1</sub>* на глубине 45 см отмечается максимальное ее содержание (88,7 %). Истинно растворимая форма цинка в разрезе 29 уменьшается с глубиной от 93,1 % в горизонте *A<sub>0</sub>* до 74,2 % в горизонте *B* на глубине 75 см; в разрезе 22 прослеживается небольшое повышение истинно растворимой его формы от горизонта *A* (93,6 %) к горизонту *B* (95,8 %); в разрезе 30 истинно растворимая форма цинка явля-

ется основной для всех горизонтов. Истинно растворимая форма свинца во всех разрезах имеет тенденцию к уменьшению с глубиной. Максимальное содержание взвеси наблюдается в основном в глубоких почвенных горизонтах. Взвесь представлена, по всей вероятности, силикатным материалом, где микроэлементы, возможно, входят в состав кристаллической решетки. Микроэлементы коллоидной группы либо присутствуют в сорбированной глинистыми минералами форме, либо входят в состав органических соединений. В истинных растворах установлено органическое вещество, следовательно, истинные растворы представлены как простыми ионами, так и комплексными (органического состава).

В почвах с повышенной кислотностью удержание легкорасторвимых соединений тяжелых металлов затруднено. Между содержаниями подвижных форм химических элементов в почвах и растениях существует положительная корреляционная связь. Вместе с тем, как пишут В. Б. Ильин и др. [26], химический состав растений обладает упорядоченностью и стабильностью и в качестве важного наследственного признака тщательно сохраняется ими. Функцию защиты выполняют прежде всего клеточные мембранны, а также несколько защитных зон, регулирующих элементный химический состав растительной ткани. Авторы предлагают проводить оценку загрязненности почв и растений по следующим показателям: 1) накопления элементов в почве, 2) активного загрязнения почвы (по количеству подвижной формы элемента), 3) общего и внутритканевого загрязнения растений. Эти показатели рассчитываются относительно контрольных почв и растений.

Увеличение концентрации свинца в почве оказывает сильное влияние на растения: наблюдается угнетение их роста, уменьшение высоты, снижение количества зерна и общей продуктивности. При высоких концентрациях свинца растение гибнет. Свинец больше накапливается в вегетационных органах, чем в зерне. Поглощение свинца растениями зависит от биологических особенностей культур, от фазы развития растений, типа и свойств почв. Максимум накопления свинца приходится на первые фазы роста растений [65]. Наибольшему загрязнению никелем и медью подвержены болотные низинные почвы аккумулятивных ландшафтов и подзолистые почвы трансэлювиальных ландшафтов. Полная гибель растительности и разрушение аккумулятивного горизонта на 60 % территории в радиусе 5—6 км от источника загрязнения в условиях сильно расчлененного рельефа приводят к развитию оврагов глубиной до 1,5—2,0 м [Крючков В. В., 1980 г.].

Н. Г. Зырин [22] в условиях вегетационного опыта установил, что инактивирующее действие на ферментативную активность почв зависит от типа почв, природы металла и его концентрации. Кадмий при высокой дозе (100 мг/кг) снижал в дерново-подзолистой почве активность протеазы, уреазы, амилазы,

инвертазы, фосфотазы, дегидрогеназы примерно в 2 раза; активность каталазы при этом уменьшалась на 32 %. На черноземе и торфяно-болотной почве эффект инактивации кадмия значительно слабее, чем на дерново-подзолистой почве,— снижение активности ферментов составило лишь 10—20 %. Инактивационная способность свинца (даже при концентрации 2000 мг/кг) значительно меньше, чем кадмия. В дерново-подзолистой почве была затронута активность только протеазы, амилазы и инвертазы, которая снизилась на 20 %, в то время как остальные ферменты оказались более стабильными к свинцу.

Действие тяжелых металлов на микробный состав почв изучено С. В. Левиным [42]. В вегетационном опыте установлено, что наибольшее токсическое влияние на микроорганизмы оказывает кадмий, затем следуют цинк и свинец. Наибольшими защитными свойствами в этом отношении обладает чернозем типичный, меньшими — торфяная почва, самыми слабыми — дерново-подзолистая почва. Действие тяжелых металлов на микробиологическую деятельность почвы зависит от степени ее оккультуренности. Так, по данным И. Н. Скворцовой и др. [1980 г.], при наибольшей дозе кадмия (100 мг/кг) суммарное содержание микроорганизмов в неокультуренной дерново-подзолистой почве снизилось в 5,5 раза, а в оккультуренной — в 1,5 раза по сравнению с контролем.

**Рациональное использование минеральных и органических удобрений.** В Советском Союзе по сравнению со странами Западной Европы и Северной Америки (табл. 119) минеральные удобрения вносятся в почву в меньших дозах.

ТАБЛИЦА 119  
Дозы внесения в почву NPK и урожай зерновых [51]

Страна	1961—1965 гг.		1976—1978 гг.	
	NPK, кг/га	Урожай, ц/га	NPK, кг/га	Урожай, ц/га
США	53	28,1	100	37,6
Канада	12	20,0	325	22,6
Великобритания	200	34,1	267	42,3
ФРГ	315	30,5	408	40,7
Франция	142	26,4	267	40,0
Среднее в мире	27	15,0	65	20,1

В 1961—1965 гг. в мире вносились минеральных удобрений в среднем 27 кг/га и снимался урожай зерновых 15,0 ц/га, в 1976—1978 гг. доза минеральных удобрений увеличилась до 65 кг/га (232 %), урожай зерновых достиг 20,1 ц/га (134 %).

Англия, Франция и ФРГ уже в 1961 г. использовали высокие дозы минеральных удобрений (соответственно 200; 142 и 315 кг/га) и получали урожай зерновых 34,1; 26,4 и 30,5 ц/га. Эти страны в 1976—1978 гг. повысили дозы внесения в почву минеральных удобрений до 267—408 кг/га, при этом урожайность возросла до 40,0—42,3 ц/га.

Длительное и систематическое применение органических и минеральных удобрений с периодическим известкованием и правильным севооборотом являются основными факторами интенсификации земледелия, повышения плодородия почв нечерноземной зоны, получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных продуктов. Коэффициент полезного действия минеральных удобрений в основном зависит от степени окультуренности почв (табл. 120), что достаточно убедительно показали опыты, поставленные Г. А. Савельевой с использованием

ТАБЛИЦА 120

Зависимость урожайности пшеницы и ржи от доз минеральных удобрений и степени окультуренности почв [1]

Варианты опыта	Всего удобрений, кг/га	Пшеница		Ржь	
		ц/га	%	ц/га	%
Хорошо окультуренные почвы					
Без удобрений	—	41,5	100	34,3	100
$N_{60}P_{55}K_{60}$	175	53,0	128	47,8	139
$N_{120}P_{110}K_{120}$	350	64,0	154	60,2	175
$N_{180}P_{165}K_{180}$	525	74,9	179	52,8	154
$N_{240}P_{220}K_{240}$	700	71,7	173	54,9	160
$N_{300}P_{275}K_{300}$	875	63,2	152	53,5	155
Слабо окультуренные почвы					
Без удобрений	—	3,9	100	8,8	100
$N_{50}P_{40}K_{40}$	180	19,5	500	24,7	281
$N_{100}P_{120}K_{140}$	360	29,4	754	32,2	366
$N_{150}P_{180}K_{210}$	540	36,1	925	44,0	500
$N_{200}P_{210}K_{280}$	720	35,9	920	47,0	534
$N_{250}P_{300}K_{350}$	900	34,7	889	45,9	522

различных доз минеральных удобрений на хорошо и слабо окультуренных почвах. Так, хорошо окультуренная почва даже без удобрений дает урожай пшеницы выше, чем слабо окультуренная почва с внесением в нее минеральных удобрений в дозе  $N_{250}P_{300}K_{350}$  (соответственно 41,5 и 34,7 ц/га). При этом установлено, что применение таких высоких доз минеральных удобрений снижает урожайность пшеницы и ржи. Внесение же минеральных удобрений в окультуренную почву в дозе 525 кг/га повышает урожайность пшеницы до 74,9 ц/га. Дальнейшее увеличение дозы минеральных удобрений снижает урожайность.

Максимальный урожай ржи достигается при дозе минеральных удобрений 350 кг/га и составляет 60,2 ц/га. Если максимальный расход минеральных удобрений на получение 1 ц пшеницы на хорошо окультуренной почве составляет 7 кг, то на слабо окультуренной — 15 кг; то же наблюдается и для ржи — соответственно 12,7 и 20 кг.

Как указывает Н. С. Авдонин [1], минеральные удобрения обладают физиологически кислой реакцией и проявляют скрытое отрицательное воздействие на свойства почвы: повышают все виды кислотности, увеличивают содержание подвижных форм алюминия и марганца, усиливают вымывание кальция и магния, отрицательно влияют на биологические свойства почвы. При больших дозах удобрений и при их систематическом применении эти изменения в почве осуществляются за короткий срок. Особенно это проявляется при использовании растворимых форм минеральных удобрений. Рекомендуется сочетать растворимые формы с нерастворимыми или слаборастворимыми. При этом желательно вносить минеральные удобрения совместно с органическими, которые благодаря своей буферности ослабляют отрицательный эффект минеральных удобрений.

Установлено также, что при увеличении доз удобрений резко снижается использование растениями питательных веществ на создание основной продукции и происходит рост побочных продуктов — соломы, ботвы и др. Как показал В. Д. Панников [58], увеличение дозы азота в составе минеральных удобрений выше 120 кг/га, как правило, не приводило к дальнейшему росту урожая. Более высокие дозы азота (200 кг/га) независимо от уровня фосфорного и калийного питания не улучшили качества зерна и снижали его сбор на 4—5 ц/га. Н. С. Авдонин [1] указывает, что отрицательное действие повышенных доз удобрений может проявляться не сразу: при нормальной всхожести через некоторое время обнаруживается сильная угнетенность растений, приводящая к их гибели, либо неблагоприятно складывается структура урожая; так, среднее число непродуктивных стеблей (без зерен) поднялось от нуля до 39 на один соус. Значительно возрастает содержание азота в растениях (в 1,5—2 раза), причем белкового — в несколько раз (31—61 % от общего количества), т. е. азот остается не связанным в белковую молекулу, питательные вещества используются непроизводительно, обмен веществ в растениях нарушается.

При избыточном питании происходит своеобразное засоление почвы, в условиях которого у растений нарушается поступление воды, изменяются водообмен, фотосинтетическая активность, интенсивность дыхания и, как следствие, нарушается обмен веществ. При внесении больших доз минеральных удобрений повышается осмотическое давление и растения воспринимают питательные вещества не в том соотношении, как при оптимальных дозах удобрений. Учитывая, что в нашей стране на больших площадях почвы имеют негативные свойства — из-

лишнюю кислотность, повышенное содержание подвижных форм алюминия и других химических элементов, которые снижают эффективность удобрений. Н. С. Авдонин считает необходимым проведение больших государственных работ по улучшению свойств почв, так как без коренного повышения их плодородия нельзя решить проблему получения высоких урожаев.

Все вышеприведенное относится и к молодым слабо окультуренным почвам Нечерноземной зоны РСФСР. Так, по данным Ленинградского филиала Центрального научно-исследовательского института агрохимического обслуживания (ЦИНАО) [Семенов В. А., 1980 г.], Ленинградская область по использованию минеральных и органических удобрений вышла на уровень стран с высокоразвитым сельским хозяйством. В среднем вносится около 5 ц/га минеральных туков и почти 20 т/га органических удобрений. Однако эффективность их еще очень низка; например, несмотря на увеличение доз внесения удобрений под картофель, сбор клубней увеличился незначительно — с 125 до 139 ц/га. В совхозе «Гомоново» Волосовского района под зерновые было внесено удобрений вдвое больше, чем рекомендовано, а урожай получен на 4 ц/га меньше планового.

Следовательно, основное внимание в вопросах повышения плодородия почв, и особенно нечерноземной зоны, необходимо уделить окультуриванию почв. Из всех существующих методов структурной мелиорации наиболее перспективным является агрогеохимический.

**Утилизация отходов горнодобывающей промышленности и использование освободившихся территорий.** Могут быть следующие пути использования отходов: а) усовершенствование методов обогащения и технологии переработки отходов с получением из них полезных ископаемых, присутствующих в нижебалансовых концентрациях; б) применение отвальных пород как сырья для производства строительных материалов (кирпич, цемент, известь, формовочный песок и т. д.); в) использование забалансовых калийных и фосфоритовых руд, бурых и окисленных каменных углей, отходов черной и цветной металлургии в качестве заменителей минеральных и органических удобрений; г) рекультивация нарушенных площадей с возвращением их в сельское хозяйство и под лесонасаждения.

Рекультивация должна проводиться как завершающая операция после извлечения всех полезных компонентов. При этом следует учитывать ландшафтную обстановку и вещественный состав отвальных пород. Необходимо создавать антропогенные почвы, способные за несколько лет осуществить процесс почвообразования, который в природных условиях протекал в течение тысячелетий. Следовательно, рекультивация должна быть направлена на создание плодородного пахотного слоя, который должен обладать устойчивой, прочной, стабильной структурой и достаточным количеством питательных веществ в доступных для растений формах при отсутствии вредных примесей. Сле-

дует использовать пахотный слой почвенного покрова, снятого перед началом вскрышных работ. Для создания гумуса в антропогенной почве надо вносить торф и навоз; кроме того, в первые годы рекультивации можно сеять люпин или смесь кормовых бобов с ежой сборной, что увеличивает содержание в почве остатков корневой системы.

Для ускоренного окультуривания антропогенной почвы и создания ее устойчивой структуры следует проводить агрогеохимическую структурную мелиорацию, используя мелиоранты легкого механического состава (пески) для отвальных пород тяжелого состава (для тяжелых и средних суглинков) и, наоборот,— мелиоранты тяжелого механического состава (глины) для отвальных пород легкого состава (для песков, супесей). Иногда бывает и так, что сама отвальная порода может служить почвой, как, например, глауконитовый песок Егорьевского месторождения фосфоритов [28]. Глауконитовый песок содержит фосфор (4—5 %), калий (1,5—2,6 %) и ряд микроэлементов, важных для жизнедеятельности растений. Содержание гумуса в глауконитовом песке составляет 2,3 %, а суммы обменных оснований — 12—22 мг-экв/100 г. Опытными культурами служили клевер, тимофеевка, кукуруза, овес, рожь, картофель и др. Опытами установлено, что урожайность большинства культур на участке с нанесением глауконитового песка была значительно выше, чем на дерново-подзолистой почве. Так, при внесении удобрений урожай овса на песке повысился в 5,9 раза, а на почве — только в 2,1 раза, урожай кукурузы — соответственно в 10,8 и 2,3 раза.

Для рекультивации пород терриконов необходимо их террасировать, известковать высокими дозами (50—60 т/га), вносить минеральные удобрения, а затем высаживать лесные культуры [Горбунов Н. И. и др., 1980 г.]. При открытой добыче угля вскрышные породы должны быть отделены от пород, контактирующих с угольным пластом (кровля, почва). Последние по токсичности схожи с пустыми породами терриконов, и их рекультивируют так же (с посадкой лесных культур). Нетоксичные вскрышные породы могут быть рекультивированы под сельскохозяйственные культуры.

**Использование горных пород и промышленных отходов в качестве заменителей минеральных и органических удобрений.** Месторождения торфов в основном сосредоточены в северных районах страны, и торф доступен для применения его в качестве органического удобрения совхозам и колхозам шести союзных республик. В южных районах, где располагаются девять республик, запасы торфа составляют всего 0,08 % запасов страны. В этих республиках могут быть использованы бурье угли, окисленные каменные угли, горючие сланцы, ископаемые торфа. Фосфорным удобрением служит томасшлак, на кислых почвах он не уступает суперфосфату и гиперфосфату [Линник Е. Ф., 1970 г.; Дерюгин И. П., 1976 г.; Кондратьев Г. Я.,

1972 г.]. Томасшлак нашел широкое применение и за рубежом [Fliescher H., 1972 г.; Yupta B., 1971 г.; Yohansson O. и др., 1970 г.; Youge A., 1968 г.; Fagrat R., 1970 г.]. При использовании мартеновского шлака потребление растениями азота выше, чем при внесении извести. Улучшаются агрохимические свойства почв: показатель pH (солевой) изменяется с 4,3 до 6,6; повышается содержание суммы кальция и магния с 4,03 до 110,2 мг/кг почвы [Мерзляков Л. К., 1978 г.; Асаров Х. К., 1978 г.].

По данным И. Ф. Сарва [1975 г.] и Ю. Я. Кацнельсона [1976 г.], глауконитовый песок может быть использован как комплексное минеральное удобрение (калий, фосфор и др.). Кафедра агрохимии Кубанского сельскохозяйственного института своими исследованиями (1964 г.) серпентинита, марганцевой руды, глауконитовых песков, гипса, фосфоритов показала, что внесение этих горных пород в дозе 6—20 ц/га в карбонатные и выщелоченные черноземы способствует накоплению в почве нитратов. При этом в черноземе с нейтральной и слабощелочной реакцией их содержание возросло на 8—19 %, а в почвах со слабокислой реакцией — на 20—140 %; содержание аммиака увеличилось на 23—88 %.

Положительное действие микроэлементов (ванадия, кобальта, никеля и др.) на рост и развитие растений достаточно хорошо изучено. Основным их источником являются некоторые горные породы и отходы горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Обычно большинство отходов находится в тонко измельченном состоянии, пригодном для внесения их в почвы. Такими перспективными отходами являются сланцевые породы Донбасса. Полевыми опытами установлена их высокая эффективность не только в год внесения в почвы, но и в последующие годы [Галушко И. Ф., 1969, 1970 г.]. Отходы обогатительных фабрик также содержат повышенные концентрации микроэлементов: Алтынтопканской — цинка и магния, Алмалыкской — меди и молибдена, Кумышканской — цинка. Все эти отходы использовались в полевых опытах на луговых почвах под кенаф и дали положительные результаты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвенный покров является верхней частью коры выветривания, его уникальное свойство — плодородие. Благодаря многокомпонентности почвы в ней происходят интенсивные биохимические и геохимические реакции, основой которых служит солнечная энергия.

В процессах почвообразования на различных этапах геологического развития Земли, особенно при формировании почвенного покрова на материке, важные функции осуществляли микроорганизмы, бактерии и грибы. Микроорганизмы значительно раньше, чем растения, поселились на материке. Благодаря их жизнедеятельности разрушались силикатные горные породы и рудные минералы земной коры, формировались различные глинистые минералы, что способствовало биогенной и геохимической миграции химических элементов.

Установлено, что древние (девонские) ископаемые почвы сходны с современными. Они имели почвенный профиль с горизонтами, отличающимися друг от друга генетическими признаками, а в более зрелых почвах выделяются также и промежуточные горизонты (*AB*, *BC*), внутри горизонта *A* прослеживается горизонт *A<sub>0</sub>* (типа лесной подстилки).

Сохранность ископаемых почв зависит от многих геологических факторов, в том числе от орогенных процессов, трансгрессий и регрессий морей и океанов, а также от смены климатических условий.

Наиболее доступными для исследования и поэтому лучшие изученными являются почвы палеогена—неогена, главным образом торфяно-болотные, представленные в большинстве случаев неполным профилем торфяника, верхние части которого сняты движущимся ледником.

О более древних почвах можно судить по бурым и каменным углем разной степени метаморфизма, по озерным и морским илистым отложениям, преобразованным в горючие и черные сланцы. Только по растительным остаткам, спорам и пыльце можно получить представление о растениях древних эпох и о почвах, на которых они произрастили.

Хорошо сохранившиеся растительные остатки позволяют оценить содержание кислорода в атмосфере соответствующей

эпохи. Растительность, выйдя на материк, активно использует углекислый газ атмосферы и пополняет ее кислородом. По мере уменьшения содержания углекислоты в атмосфере происходит похолодание климата, появляется его сезонность, что приводит к изменению не только видового разнообразия растений, но и их химического состава. Растение вынуждено запасать питательные вещества, в основном полисахариды, в которых на долю кислорода приходится не менее 50 %. Накопление полисахаридов (клетчатки) осуществляется пропорционально похолоданию, а следовательно, соответствующим образом возрастает и содержание кислорода.

В современных растениях содержится кислорода примерно в 2 раза больше, чем в атмосфере. Если принять это соотношение верным и для древних растений, то можно оценить изменение содержания кислорода в атмосфере от девона до наших дней — соответственно от 4,5 до 21,75 %.

Оледенение в плейстоцене распространялось на огромные пространства Евразии и Северной Америки, что привело к нарушению нормального почвообразования. Формируются два типа почв: сингенетический и эпигенетический. Сингенетический развивается в районах, примыкающих к морским и океаническим бассейнам. Здесь нормальный процесс формирования почв прерывается наслоениями мелкозема (лесса), приносимого ветром с обширных шельфовых территорий, которые обнажились в результате сокращения водного пространства при снижении уровня Мирового океана на 100 м. К эпигенетическому типу относятся межледниковые почвы, представленные главным образом гидроморфными разностями, формирующими вблизи уровня грунтовых вод на пониженных участках рельефа.

С исчезновением последнего ледникового покрова с территории Русской равнины идет нормальное развитие почвенного покрова. Растительность тайги и тунды появляется в конце неогена.

Почвообразующими породами Нечерноземной зоны Северо-Запада РСФСР служат морены, глины и пески, образованные деятельностью ледников. Молодой возраст почв (10—30 тыс. лет), повышенная влажность гумидного климата и плохая структура, унаследованная от материнских пород, делают эти почвы низкоплодородными. Проводится большая работа по оккультуриванию этих почв и повышению их плодородия. Однако и мелиорация, и интенсивное внесение минеральных и органических удобрений дают слабый эффект, если не перестраивается структура почв; для достижения высокого уровня их оккультуренности требуется весьма продолжительное время.

В результате проведенных нами геохимических исследований почвенного покрова Северо-Запада Нечерноземной зоны и пород осадочной толщи предложен агрогеохимический метод, позволяющий ускорить процесс оккультуривания почв. Это достигается путем структурной мелиорации с использованием

в качестве мелиорантов местных осадочных пород, а также отходов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Этот метод дает возможность не только улучшить структуру почв, но и устранить дефицит необходимых химических элементов, которые поступают в почвы при внесении в них горных пород, богатых фосфором, калием и другими микроэлементами.

Для этих целей могут быть использованы некондиционные фосфориты (оболовые пески), с которыми связаны и богатые калием глауконитовые пески, а также отходы (хвосты) обогатительных фабрик, зола топлива электростанций, отвальные породы различных карьеров. Почвы нечерноземной зоны бедны гумусом; повысить его содержание можно с помощью некондиционных бурых углей, например сбрасываемых в отвалы Боровичским комбинатом; может быть использован также шлам обогатительной фабрики в г. Сланцы.

Производственные опыты в некоторых совхозах Ленинградской области по ускоренному окультуриванию почв методом структурной мелиорации с внесением оболовых песков и отходов (хвостов) Кингисеппского производственного объединения «Фосфорит» показали, что при одинаковых дозах минеральных и органических удобрений одноразовое применение мелиорантов в дозах 50—150 м<sup>3</sup>/га значительно повышает урожайность опытных культур. Так, внесение в почву минеральных и органических удобрений повышает урожай овса на 28%; если же наряду с этими удобрениями использовать мелиоранты в вышеуказанных дозах, урожай овса возрастает соответственно на 92,8—108,5 и 120,7%. Такой разительный эффект повышения урожайности обеспечивается улучшением структуры почв и их водно-физических и агрохимических свойств. Наличие в оболовых песках повышенных концентраций фосфора позволяет отказаться от внесения в почвы фосфорных удобрений в течение 8—10 лет, а при использовании отходов (хвостов)—в течение 4—6 лет.

Академик Л. В. Таусон отмечает: «Весьма интересен опыт ленинградских геохимиков, почвоведов и землеустроителей, разработавших агрогеохимический метод повышения плодородия почв путем внесения в них значительных количеств (100—150 м<sup>3</sup>/га) местных осадочных пород, играющих роль «агроруд». При использовании современной мощной землеройной и транспортной техники преобразование почв с помощью «агроруд» может стать экономически высокорентабельным мероприятием» [Наука в СССР, 1983, № 1, с. 72].

Для массового применения агрогеохимического метода ускоренного окультуривания почв и повышения их плодородия необходимо составить специальную инструкцию, которая определила бы требования к местным горным породам и отходам горнодобывающей промышленности, способным служить в качестве мелиорантов для тех или иных типов почв. Основой создания такой инструкции должно быть технико-экономическое

обоснование. В первую очередь такое обоснование предусматривается выполнить для Ленинградской области с полной характеристикой всех некондиционных месторождений фосфоритов (оболовых песков) и отходов горнодобывающей промышленности.

Должно быть предусмотрено прикрепление совхозов, земли которых подлежат структурной мелиорации, к близко расположенным месторождениям фосфоритов, глауконитовых песков, а также к отвалам пород и отходов горнодобывающей промышленности. Сокращение путей перевозки мелиорантов на поля пахотных земель позволит значительно повысить экономический эффект агрогеохимического метода. Этому будет способствовать также уменьшение доз внесения минеральных и фосфорных удобрений (в случае использования оболовых песков). Освободившиеся от отходов земли могут быть включены в сельскохозяйственный оборот.

Хочется надеяться, что эта книга поможет более широкому внедрению агрогеохимического метода в сельское хозяйство как нечерноземной, так и других почвенных зон нашей страны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абданин Н. С. О потенциале растений и преодолении вредного влияния действия удобрений при высоких урожаях. — Вестн. с.-х. науки, 1979, № 10, с. 52—62.
2. Агрогеохимическая карта Ленинградской области. Масштаб 1 : 600 000 / Гл. ред. Сапрыкин Ф. Я. М., 1978. («Аэрогеология», РИС ВСЕГЕИ).
3. Александрова Л. Н. Гумус и почвообразование. — Зап. ЛСХИ, Л. — Пушкин, 1975, т. 269, с. 8—20.
4. Аржанова В. С., Еллатевский П. В. Миграция микроэлементов в бурых горно-лесных почвах. — Почвоведение, 1979, № 11, с. 51—59.
5. Борисов А. А. Палеоклиматы территории СССР. Л., 1965, с. 15—65. (ЛГУ).
6. Боул С., Хоул Ф., Мак-Крекен Р. Генезис и классификация почв. М., Прогресс, 1977, с. 90—113.
7. Брежнев Д. Д., Рабочев И. С., Ильичев А. К. Повышение плодородия почв и рациональное использование земли — источник благосостояния общества. — Вестн. с.-х. науки, 1981, № 4, с. 1—12.
8. Бурков Ю. К. Статистическая модель ряда подвижности малых элементов в условиях седиментогенеза. — Труды ВСЕГЕИ, 1968, т. 150, с. 93—97.
9. Бурков Ю. К. Изучение условий формирования осадочных толщ методами статистической обработки геохимических данных. — Материалы годичной и юбилейной сессии Ученого совета ВСЕГЕИ. Л., 1971, с. 346—355.
10. Веденин О. Л., Ксенофонтова В. А. Динамика содержания гумуса в почвах Ленинградской области при интенсификации земледелия. — Почвоведение, 1982, № 1, с. 44—47.
11. Виноградов А. П. Биогеохимические провинции. — Труды юбилейной сессии АН СССР, посвященной 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М.—Л., 1949, с. 59—84. (АН СССР).
12. Виноградов А. П. Основные закономерности распределения микроэлементов между растениями и средой. — В кн.: Микроэлементы в жизни растений и животных. М., 1952, с. 12—18. (АН СССР).
13. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М., 1957, с. 35—60. (АН СССР).
14. Власюк П. А. Микроэлементы и микроудобрения. Киев, Урожай, 1964, с. 15—32.
15. Власюк П. А., Шкварук Н. М., Сапатов С. Е. Химические элементы и аминокислоты в жизни растений, животных, человека. Киев, Наукова думка, 1979, с. 15—70.
16. Гагарина Э. И., Матинян Н. Н., Счастная Л. С. Формы железа в почвах Северо-Запада РСФСР. — В кн.: Повышение плодородия почв и производительной способности земель в интенсивных системах земледелия. Минск, Наука, 1981, с. 188—189.
17. Геохимическая карта почв и почвообразующих пород Ленинградской области. Масштаб 1 : 600 000 / Гл. ред. Сапрыкин Ф. Я. М., 1978. («Аэрогеология», РИС ВСЕГЕИ).
18. Добродеев О. П. Ископаемые почвы — летопись природы. — Природа, 1972, № 10, с. 70—76.
19. Духонь Ф. Чехословакские гранулированные карбоудобрения. — Междунар. с.-х. журн. 1968, № 5, с. 68—71.
20. Зборицук Ю. Н., Зырин Н. Г. Среднее содержание бора, марганца, кобальта, меди, цинка, молибдена, иода в почвах Европейской части СССР. — Агрохимия, 1974, № 3, с. 88—94.
21. Зырин Н. Г. Общие закономерности в миграции и распределении микроэлементов в почве. — Микроэлементы в почвах Советского Союза. М., Изд-во МГУ, 1973, вып. 1, с. 9—40.

22. Зырин Н. Г. и др. Действие тяжелых металлов на ферментативную активность почв. — Тезисы докл. Всесоюз. конф. Мелиорация, использование и охрана почв нечерноземной зоны. М., Изд-во МГУ, 1980, с. 186.
23. Иванов С. И. Опыт реставрации химических особенностей растительного покрова прошлых геологических эпох на основе современной фитохимии. Проблемы физической географии. Л., Изд-во АН СССР, 1934, с. 15—25.
24. Ильин В. Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов в южной части Западной Сибири. Новосибирск, Наука, 1973, с. 25—60.
25. Ильин В. Б. О районировании почвенного покрова в биогеохимических целях. — В кн.: Эксперименты по биохимии и агрохимии элементов-биофилов. Новосибирск, Наука, 1977, с. 18—37.
26. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Относительные показатели загрязнения в системе почва — растение. — Почвоведение, 1979, № 4, с. 61—67.
27. Кардеева Н. В. Геоморфология Европейской части СССР. М., Изд-во МГУ, 1957, с. 16—45.
28. Карлович С., Тюлина О., Арбузов С. Рекультивация земель, нарушенных при добывке фосфоритов. — Междунар. с.-х. журн., 1980, № 2, с. 72—74.
29. Карта геохимического районирования почвенного покрова Ленинградской области (по данным содержания микроэлементов). Масштаб 1 : 600 000/ Гл. ред. Сапрыйкин Ф. Я. М., 1978. («Аэрогеология», РИС ВСЕГЕИ).
30. Ковалевский В. В. Биохимические провинции СССР и методы их изучения. — Труды биогеохим. лаб. АН СССР, 1960, т. II, с. 6—33.
31. Ковалевский В. В. Значение геохимической экологии в определении потребности сельскохозяйственных животных в микроэлементах. — В кн.: Микроэлементы в животноводстве. М., Сельхозиздат, 1962, с. 8—20.
32. Ковалевский В. В., Петрунина Н. С. Геохимическая экология и эволюционная изменчивость растений. — В кн.: Проблемы геохимии. М., Наука, 1965, с. 565—577.
33. Ковалевский В. В., Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. М., Наука, 1970, с. 18—45.
34. Ковда В. А. Аридизация суши и борьба с засухой. М., Наука, 1977, с. 36—48.
35. Ковда В. А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. М., 1981, с. 40—62. (МГУ).
36. Ковда В. А. Основы учения о почвах. М., Наука, 1973, с. 235—376.
37. Кононова М. М. Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 220—260.
38. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 8—14.
39. Крештапова В. Н. Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях Европейской части РСФСР. М., 1974, с. 17—97. (Мингео СССР, ИМГРЭ).
40. Кулачкова А. Ф., Сапрыйкин Ф. Я., Лаврентьева М. М. Новые данные о природе и химическом составе гуминовых и фульвокислот. — Химия твердого топлива, 1973, № 6, с. 10—19.
41. Кухаренко Т. А. Исследование в области гуминовых кислот. — Труды ИГИ АН СССР, 1950, с. 208—226.
42. Левин С. В. Действие тяжелых металлов на микробный состав разных почв в условиях вегетационного опыта. — Тезисы докл. Всесоюз. конф. М., Изд-во МГУ, 1980, с. 187.
43. Летунова С. В., Ковалевский В. В. Геохимическая экология — основа системы биогеохимического районирования. — В кн.: Биогеохимическое районирование — метод изучения экологического строения биосферы. М., Наука, 1978, с. 15—65.
44. Лобанов Е. В. К вопросу о развитии почвенного покрова мира и зональности главных свойств почв. — В кн.: Биосфера и почвы. М., Наука, 1976, с. 21—31.
45. Луц Н. И., Сапрыйкин Ф. Я., Шувалова Н. И. Порог коагуляции гуминовых кислот в присутствии некоторых редких и породообразующих элементов. — Материалы к IX совещ. работников лаб. геол. организаций. М., Недра, 1965, вып. 7, с. 123—133.

46. Лукашев К. И. Зональные геохимические типы коры выветривания на территории СССР. Минск, 1956, с. 10—60. (АН БССР).
47. Лукашев К. И. Геохимия гипергенеза. Минск, 1963, с. 18—37. (АН БССР).
48. Лукашев К. И., Петухова Н. П. Микроэлементы в ландшафтах БССР. — Почвоведение, 1975, № 8, с. 20—25.
49. Макеев О. В. Микроэлементы в почвах Сибири и Дальнего Востока. М., Наука, 1973, с. 7—126.
50. Микроэлементы медь, кобальт, марганец в почвах Ленинградской области/Эльмеги М. А., Гагарина Э. И., Матинян Н. Н., Счастная Л. С.— Вестн. ЛГУ, 1977, вып. 4, с. 116—123.
51. Минеев В. Г. Дальнейшее развитие химизации земледелия и задачи науки.— Вестн. с.-х. науки, 1980, № 1, с. 29—38.
52. Мишустина Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почв. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 43—80.
53. Никонов М. Н. Районирование торфяного фонда Европейской территории СССР. Т. 1. М., 1960, с. 8—40. (МСХ СССР, ВИЭМС).
54. Ничипорович А. А. Беседы по актуальным проблемам. Сер. 12, биол. М., Знание, 1968, с. 1—59.
55. О зависимости состава и структуры почв от физико-химических особенностей материнских пород.— В кн.: Роль литолого-стратиграфического, структурного и палеогеографического факторов в формировании месторождений полезных ископаемых/Плисов А. А., Сапрыйкин Ф. Я., Хантулев А. А. и др. М., Изд-во МГ РСФСР, с. 102—106.
56. Опарин А. И. Жизнь, ее природа, происхождение и развитие. М., Наука, 1968. 44 с.
57. Основные этапы формирования почвенного покрова на Северо-Западе РСФСР/Хантулев А. А., Гагарина Э. И., Матинян Н. Н., Счастная Л. С.— Вопр. генезиса почв лесной зоны и лесостепи. Л., Изд-во ЛГУ, 1974, № 23, с. 3—43.
58. Панников В. Д. Повысить уровень химизации земледелия нечерноземной зоны.— Химия в сельск. хоз-ве, 1977, № 11, с. 28—35.
59. Пейве Я. В. Недостаточность микроэлементов в почве и ее отрицательное значение для народного хозяйства.— В кн.: Науч. сессия по вопр. биологии и сельск. хоз-ва. М., 1953, с. 524—540.
60. Пейве Я. В. Микроэлементы и ферменты. Рига, Изд-во АН ЛатвССР, 1960, с. 16—38.
61. Пейве Я. В. Микроэлементы (кобальт, медь, цинк, молибден) в почвах Латвийской ССР.— Труды биохим. лаб. АН СССР, 1960, т. 11, с. 18—35.
62. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М., Недра, 1972, с. 10—47.
63. Польнов Б. Б. Кора выветривания. М., Изд-во АН СССР, 1934, с. 10—120.
64. Пономарева В. В., Рагим-Заде А. И. Сравнительное изучение фульвокислот как агентов разложения силикатных минералов.— Почвоведение, 1969, № 3, с. 26—36.
65. Поступление тяжелых металлов в растения как основа разработки ПДК в почвах/Сердюков А. В., Платонов Г. В., Обухов А. И., Зырин Н. Г.— Тезисы докл. Всесоюз. конф. Мелиорация, использование и охрана почв нечерноземной зоны. М., Изд-во МГУ, 1980, с. 180—181.
66. Потемкин Л. А. Охрана недр и окружающей природы. М., Недра, 1977, с. 78—168.
67. Почвенно-геохимические карты— основа планирования агрогеохимического преобразования почв/Сапрыйкин Ф. Я., Смыслов А. А., Рудник В. А. и др.— Вестн. с.-х. науки, 1980, № 12, с. 44—50.
68. Почвенно-географическое районирование как научная основа рационального использования ресурсов педосферы/Добровольский В. В., Урусовская И. С., Летунов П. А., Розов Н. Н.— Биосфера и почвы. М., Наука, 1976, с. 33—52.
69. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР. М., Изд-во МГУ, 1975, с. 1—136.

70. Приходько М. М. Районування території Закарпатської низини і Закарпатського предгір'я за вмістом мікроелементів у ґрунтах. — Наук. Проці. Львів сільськогоспод. інститут, 1973, с. 48.
71. Протасов Н. А. Районирование Окского-Донской равнины по содержанию микроэлементов в почвах. — Почвоведение, 1982, № 2, с. 5—13.
72. Рекицкая Л. Г., Феофилова А. П. Ископаемые почвы каменноугольного возраста в Донецком бассейне.— В кн.: Труды X Междунар. конгресса почвоведов. Т. 6, ч. 2. М., 1974, с. 422—428.
73. Сапожников Н. А., Кащенко А. С., Небольсин А. Н. Рациональное применение удобрений. Л., Лениздат, 1976, с. 4—10.
74. Сапрыкин Ф. Я. Природные карбиды урана в магматических кристаллических породах и их роль в образовании нефти и битумов. — Тезисы докл. VIII Менделеевского съезда. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 85—86.
75. Сапрыкин Ф. Я., Свентиховская А. Н. Закономерности редкометального оруденения современных торфянников. — Материалы к IX совещ. лаб. геол. организаций. М., Недра, 1965, вып. 7, с. 95—102.
76. Сапрыкин Ф. Я. Растения древних геологических эпох углеобразования как индикаторы газового состава атмосферы. — Труды ВСЕГЕИ, 1978, т. 295, с. 39—50.
77. Сапрыкин Ф. Я., Кулаккова А. Ф. Химическая характеристика каменных углей Чечумского месторождения Ленского угольного бассейна. — Химия твердого топлива, 1972, № 3, с. 22—26.
78. Сапрыкин Ф. Я., Кулаккова А. Ф. Роль природных органических веществ в процессах миграции микроэлементов. — Проблемы геохимии, 1973, серия новая, т. 241, с. 77—89.
79. Сапрыкин Ф. Я., Кулаккова А. Ф. Химический состав битумоидов и смолы каменных углей Сангарского месторождения Ленского угольного бассейна. — Химия твердого топлива, 1975, № 5, с. 32—37.
80. Смирнов А. В. Использование озерных сапропелей для удобрения и способы их добывчи. — Труды Свердл. с.-х. ин-та, 1962, т. 10, с. 20—31.
81. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М., Изд-во АН СССР, 1960, т. 1, с. 44—203; т. 2, с. 5—140.
82. Тищенко В. В., Сапрыкин Ф. Я. О гуминовых кислотах некоторых бурых углей. — Учен. зап. ЛГУ. Сер. хим., 1952, № 155, с. 10—13.
83. Трегубов П. С. Эродированные и эрозионноопасные земли Нечерноземья РСФСР и защита почв от эрозии. — Тезисы докл. Всесоюз. конф. Мелиорация, использование и охрана почв нечерноземья. 1980, с. 14—16.
84. Ферсман А. Е. Геохимия. М., Госхимтехиздат, 1933, т. 1, с. 34.
85. Ферсман А. Е. Основные идеи геохимии. М., 1935, вып. 1 и 2, с. 23—48.
86. Христева Л. А. Роль гуминовых кислот в питании растений и гуминовые удобрения. — Труды Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 1951, т. 38, с. 108—117.
87. Христева Л. А. Стимулирующее влияние гуминовой кислоты на рост высших растений и природа этого явления. — В кн.: Гуминовые удобрения, теория и практика их применения. — Харьков, Урожай, 1957, с. 125—143.
88. Христева Л. А. Физиологические принципы технологии гуминовых удобрений. — Там же, с. 13—27.
89. Христева Л. А., Гетманец А. Я. Основы технологии производства и применения концентрированных гуминовых органоминеральных удобрений. — В кн.: Гуминовые удобрения, теория и практика их применения. Ч. 3. Киев, Урожай, 1968, с. 245—257.
90. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М., Колос, 1967, с. 120—135.
91. Экономическая эффективность агрогеохимического метода ускоренного оккультуривания мелиорируемых земель/Сапрыкин Ф. Я., Смыслов А. А., Рудник В. А. и др. — Вестн. с.-х. науки, 1982, № 8, с. 110—119.
92. Kochpar I. Visitni melosoich vipalku v rostilinne vyrobe ve forme polydiperinico korbohnojwe. — Sbornik visoke skoly Leened v Prase, 1973, № 2, p. 26—56.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>ЧАСТЬ I. ГЕНЕЗИС БИОСФЕРЫ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА</b>	
Глава 1. Биосфера и ее генезис . . . . .	6
Глава 2. Почвенный покров и его генезис . . . . .	13
Глава 3. Гумус и его роль в почвообразовании и жизнедеятельности растений . . . . .	32
<b>ЧАСТЬ II. ГЕОХИМИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА</b>	
Глава 4. Роль микроэлементов в жизнедеятельности организмов . . . . .	58
Глава 5. Геохимическое районирование почвенного покрова на основе его микроэлементного состава . . . . .	71
Глава 6. Минералогический состав почвообразующих пород и почв Северо-Запада РСФСР . . . . .	94
Глава 7. Распространенность и поведение микроэлементов в почвах Северо-Запада РСФСР . . . . .	109
Глава 8. Микроэлементы торфяно-болотных почв . . . . .	127
<b>ЧАСТЬ III. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОХИМИИ В ПОВЫШЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И В ИХ ОХРАНЕ</b>	
Глава 9. Агрогеохимический метод ускоренного окультуривания земель . . . . .	147
Глава 10. Проверка эффективности агрогеохимического метода в совхозах Ленинградской области . . . . .	151
Глава 11. Почвенно-геохимические карты среднего масштаба — основа планирования структурной мелиорации агрогеохимическим методом . . . . .	171
Глава 12. Почвенно-геохимические карты крупного масштаба — основа проведения агрогеохимической структурной мелиорации . . . . .	182
Глава 13. Минеральные мелиоранты для структурной мелиорации почв . . . . .	191
Глава 14. Твердые горючие ископаемые и отходы их добычи — заменители органических удобрений . . . . .	200
Глава 15. Использование бурых и окисленных каменных углей в качестве комплексного органоминерального удобрения . . . . .	207
Глава 16. Основные мероприятия по охране почв . . . . .	210
Заключение . . . . .	223
Список литературы . . . . .	227

**ФИЛИПП ЯКОВЛЕВИЧ САПРЫКИН**

**ГЕОХИМИЯ ПОЧВ  
И ОХРАНА ПРИРОДЫ**

**Геохимия, повышение плодородия и охрана почв**

Редактор издательства Л. Г. Ермолаева  
Переплет художника Ю. И. Прошлекова  
Технический редактор Н. П. Старостина  
Корректор М. И. Витис

**ИБ № 4210**

Сдано в набор 21.05.84. Подписано в печать 25.07.84. М-38135. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 14,5. Усл. кр.-отт. 14,5. Уч.-изд. л. 16,2. Тираж 7500 экз. Заказ № 974/564. Цена 1 р. 30 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,  
Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.  
Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Д-126, Социалистическая ул., 14.

4657