

В. И. ПАНАСИН

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ
И
УРОЖАЙ**

Государственный центр агрохимической службы «Калининградский»

В. И. ПАНАСИН

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ
И
УРОЖАЙ**

ОГУП
«Калининградское книжное издательство»
2000

УДК 631.416.9(470.26)

ББК 40.3(2Р—4К)

П 16

Автор выражает сердечную благодарность коллективу проектно-изыскательского центра агрохимической службы Калининградской области, внесшему огромный вклад в издание этой книги.

Панасин В. И.

П 16 Микроэлементы и урожай / Предисл. Б. А. Ягодина. — Калининград: ОГУП «Калининградское кн. изд-во», 2000 — 276 с.

ISBN 5-85500-385-X:Б. ц.

В книге освещаются результаты фундаментальных исследований влияния микроэлементов на плодородие почв, урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Приводится научно обоснованная система применения микроудобрений в растениеводстве.

Для специалистов сельского хозяйства.

УДК 631.416.9(470.26)

ББК 40.3(2Р—4К)

ISBN 5-85500-385-X

© В. И. Панасин, 2000.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представляемая книга является весьма ценной как в теоретическом, так и в практическом отношении. В ней приведен огромный экспериментальный материал, характеризующий особенности географического распространения микроэлементов в основных звеньях ландшафта: почвах, почвообразующих породах, почвенно-грунтовых водах и растениях. Глубоко освещены аспекты миграции и трансформации микроэлементов в системе: почва — растение.

На основе современных физико-химических методов и математического моделирования показаны закономерности, и количественное влияние применения средств химизации на поведение микроэлементов в почве, и доступность их растениям. Установлены оптимальные дозы, сроки и способы применения микроудобрений под основные сельскохозяйственные культуры, даны практические советы по применению микроудобрений для специалистов-практиков и ученых-агрохимиков.

За последние годы это, пожалуй, самая фундаментальная работа, которая выгодно отличается комплексностью решения проблемы оптимизации микроэлементного питания растений, глубиной экспериментальных исследований и новациями в методических аспектах постановки проблемы и ее решения.

Данная монография может стать настольной книгой для практиков-земледельцев, научных работников, преподавателей высшей школы, работников агрохимической службы, аспирантов и студентов.

По стилю изложения она понятна любому образованному человеку, имеющему дело с землей и равнодушному к проблемам приумножения ее плодородия.

Б. А. Ягодин,
академик Российской Академии
сельскохозяйственных наук.

ШИРОКО РАСПРОСТИРАЕТ ХИМИЯ РУКИ
СВОИ В ДЕЛА ЧЕЛОВЕЧЕСКИЕ... КУДА НИ ПО-
СМОТРИМ, КУДА НИ ОГЛЯНЕМСЯ, ВЕЗДЕ ОБ-
РАЩАЮТСЯ ПЕРЕД ОЧАМИ НАШИМИ УСПЕ-
ХИ ЕЕ ПРИЛЕЖАНИЯ.

М. В. Ломоносов

Посвящается 35-летию Государственной агрохимической службы Калининградской области

Введение

В повышении плодородия почв и росте урожайности сельскохозяйственных культур одним из самых мощных и быстродействующих средств в комплексе агротехнических мероприятий является комплексная химизация земледелия. Научой и передовой практикой доказано, что наибольший эффект достигается при дифференцированном использовании средств химизации с учетом свойств почв и биологических особенностей сельскохозяйственных культур на основе оптимизации почвенно-агрохимических условий питания растений.

Одним из новых разделов теории минерального питания растений является учение о микроэлементах. На фоне интенсивного применения органических и минеральных удобрений микроудобрения нередко выступают в качестве дополнительного фактора повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения качества урожая. Микроэлементы в сочетании с макроэлементами необходимы для создания в почве оптимального соотношения химических элементов питания растений, обуславливающих их нормальный рост и развитие. Научно обоснованное применение микроудобрений должно проводиться с учетом агрохимических свойств и химического состава почв, в том числе обеспеченности их микроэлементами.

Исследованиями ряда ученых (Петербургский А. В., 1972; Пейве Я. В., 1980; Ковальский В. В., 1970; Школьник М. Я., 1974; Ягодин Б. А., 1984; Власюк П. А., 1975 и др.) доказана высокая физиологическая роль микроэлементов в живых организмах. Установлено их специфическое влияние на характер синтеза и функции многих биологически активных веществ (ферментов, витаминов, гормонов и др.) растений и животных. Недостаток или избыток элементов в кормах, продуктах питания, питьевой воде вызывает эндемическое заболевание животных и человека.

В настоящее время в отечественной и зарубежной науке большое внимание уделяется исследованиям роли микроэлементов в жизни растений. Практическое применение в сельском хозяйстве нашли бор, медь, марганец, молибден, кобальт и цинк. Доказана физиологическая специфичность и незаменимость их для растений. При недостатке или нарушении соотношения между отдельными элементами в почвах у растений проявляются симптомы микроэлементного голодания, снижается урожай и ухудшается его качество.

Обеспеченность сельскохозяйственных культур химическими элементами питания, в том числе микроэлементами, определяется преимущественно их запасом в почвах. Содержание микроэлементов в разных типах почв различных зон и республик страны изучено многими отечественными учеными (Багинская Б. П., 1969; Ковда В. А., Зырин Н. Г., 1973; Дубиковский Г. П., 1975; Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1974).

Химический состав почв, подвижность и соотношение элементов питания, их доступность растениям значительно изменяются под влиянием производственной деятельности человека (осушение, орошение, известкование, внесение минеральных и органических удобрений и другие мероприятия). Доказано, что дефицит микроэлементов в почвах возрастает в связи с увеличением производства и применения концентрированных и комплексных удобрений (Дубиковский Г. П., 1975; Горлях Э., Олькусник С., 1982).

Калининградская область издавна славится своей земледельческой культурой и характеризуется своеобразием почв, спецификой условий их формирования и развития, значительной пестротой почвенного покрова и другими особенностями.

По вопросам общих агрохимических свойств почв и применению минеральных удобрений в послевоенный период большая работа на территории области была проведена комплексной экспедицией АН СССР. За период с 1949 по 1961 год агрохимические исследования были выполнены на всех основных типах почв, установлена корреляционная связь между агрохимическими показателями почв и отзывчивостью растений на отдельные элементы питания. Начиная с 1954 года вопросами агрохимического обследования почв занимались районные агрохимические лаборатории, а с 1965 года — Калининградская областная станция химизации.

Выполнение комплекса работ по агрохимическому обследованию почв и проведению полевых опытов с удобрениями позволило подробно изучить агрохимические свойства почв всех видов сельскохозяйственных угодий в разрезе административных районов, колхозов и совхозов, а также установить оптимальные дозы минеральных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры. Установлено, что

в целом почвы области характеризуются повышенной кислотностью, недостаточной обеспеченностью основными элементами питания растений.

Однако до начала наших исследований на территории Калининградской области, расположенной в западной части Нечерноземной зоны РФ, отсутствовали данные о содержании бора, цинка, кобальта, марганца, молибдена в основных звеньях ландшафта: почвообразующих породах, почвенно-грунтовых водах, почвах и растениях, не выявлена их роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур.

В условиях интенсификации земледелия и повышения уровня химизации стало необходимым исследование микроэлементного состава почв, выявление роли микроэлементов с целью разработки научно обоснованной системы применения микроудобрений с учетом региональных почвенно-климатических особенностей и широкого распространения мелиорируемых земель.

Для достижения этой цели перед специалистами-агрохимиками были поставлены следующие задачи:

1. Изучить содержание валовых и подвижных форм микроэлементов в почвообразующих породах, почвенно-грунтовых водах и почвах.

2. Выявить закономерности вертикального распределения микроэлементов, особенности их миграции и трансформации в профилях основных типов почв.

3. Изучить влияние интенсивной химизации земель на содержание и подвижность микроэлементов в почвах.

4. Выявить особенности распределения и динамики выноса микроэлементов в мелиорированных почвах с дренажным стоком.

5. Установить количественную зависимость между свойствами почв и содержанием микроэлементов.

6. Установить закономерности географического распределения микроэлементов в почвах.

7. Определить влияние различных доз и способов внесения микроудобрений на урожай и качество сельскохозяйственных культур.

8. Дать теоретическое обоснование оценки обеспеченности почв микроэлементами по их запасам в пахотном слое с учетом отзывчивости исследуемых культур.

Исследования по теме проводились в период с 1967 по 1984 г. Калининградской областной проектно-изыскательской станцией химизации сельского хозяйства в колхозах и совхозах области.

В книгу также включены материалы собственных исследований, опубликованные за период с 1968 по 1985 год в книгах, брошюрах и статьях.

С целью познания закономерностей распределения микроэлементов на территории области были отобраны наиболее репрезентативные образцы почвообразующих пород, почвенно-грунтовых вод и почв. Было заложено и исследовано свыше 700 полных почвенных разрезов, в том числе дерново-подзолистых почв — 360, дерновых луговых — 120, аллювиально-луговых — 112 и осушаемых торфяных — 123. Кроме того, отобрано и проанализировано около 4000 образцов с перегнойно-аккумулятивных горизонтов почв. Общее число почвенных образцов, проанализированных на содержание валовых форм микроэлементов, составило 3700, подвижных — свыше 20 тыс. Были исследованы также 345 образцов почвенно-грунтовых вод.

Для изучения влияния микроэлементов на химический состав сельскохозяйственных культур было исследовано 9000 растительных образцов.

Отбор образцов почв, почвообразующих пород, почвенно-грунтовых вод, растений и подготовка их к анализу проводились с учетом «Методических указаний по агрохимическому обследованию почв сельскохозяйственных угодий» (М., 1982) и «Методических указаний по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов» под редакцией Важенина И. Г. (1976).

Образцы почв из перегнойно-аккумулятивных горизонтов отбирали с площади элементарного участка на пашне 3—5 га, на лугопастбищных угодьях с 10—15 га, на полях овощных севооборотов с площади около 2 га. Отбор образцов проводили тростьевым буром на всю глубину гумусового горизонта, который на пахотных землях колебался от 20 до 26 см, а на лугопастбищных угодьях — от 13 до 18 см.

В период с 1968 по 1971 год проведены методические исследования по различным способам отбора и количества индивидуальных проб (уколов) для составления смешанного образца, а с 1971 по 1973 г. — по срокам отбора. Отбор смешанных образцов проводили по диагонали элементарного участка.

Валовое содержание меди, цинка, и марганца в почвах и растениях определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометрах С-302 и ААС-1 из солянокислого раствора, полученного после озоления навески и переведения золы в раствор. Данный метод по ряду технических характеристик (универсальность, высокая точность, экспрессность, производительность и др.) превосходит химические и другие методы анализа малых концентраций элементов. Подвижные формы меди и марганца в почве также определяли атомно-абсорбционным методом: медь из вытяжки 1 н HCL, марганец-0,1 и H₂SO₄ (Методические указания по атомно-абсорбционному опреде-

лению микроэлементов в вытяжках из почв и в растворах золы кормов и растений, М., 1977; Лернер Л. А., Иванов Д. Н., 1970; Ноллендорф А. Ф. и др., 1975).

Содержание бора, кобальта и молибдена в почвах и растениях, а также количество подвижного цинка в почвах определяли фотоколориметрически по методике Ринькиса Г. Я. (1965). Бор анализировали из отдельной навески после обработки горячей водой хинализариновым методом, молибден-роданидным методом с изоамиловым спиртом, кобальт-нитрозо-R-солью, подвижный цинк в почвах — экстракцией дитизоном из вытяжки (Методические указания по колориметрическому определению микроэлементов в почвах, кормах и растениях, М., 1977, 1983; Методические указания по определению цинка, меди, марганца и кобальта в природных водах, М., 1981).

Для производственных условий важным критерием применения того или иного метода определения малых количеств элементов являются экспрессность и повышение производительности с наименьшими затратами ручного труда. По атомно-абсорбционной спектрофотометрии была проведена методическая работа поиска путей снижения затрат времени на подготовку образцов к анализу и выбору оптимальных условий фотометрии.

В эксперименте найдено, что для полного перехода меди и марганца в почвенную вытяжку достаточно 20-минутного встряхивания вместо одночасового, что позволяет в три раза сократить время на проведение данной операции.

Замена фильтрования суточным отстаиванием сокращает число операций при анализе, что значительно сказывается на экономии времени, а результаты проведенного эксперимента показали на возможность введения данной замены в массовых определениях микроэлементов атомно-абсорбционным методом. Замена фильтрования суточным отстаиванием не только исключала затраты времени и труда на фильтрование, но и повышала точность определения микроэлементов. Значительное сокращение времени анализа достигнуто также за счет приготовления эталонных смесей определяемых элементов и подбора оптимального режима работы прибора.

Воспроизводимость определения микроэлементов атомно-абсорбционным методом изменялась от 3,8 до 17,6% и в среднем была равна $\pm 7-9\%$, фотоколориметрическим — от 7,9 до 32,6% и в среднем равнялась $\pm 12-17\%$.

Чувствительность атомно-абсорбционного определения меди составляла 0,06—0,11, цинка 0,02—0,07, марганца — 0,04—0,08 мкг/мл. Ошибка определения микроэлементов не превышала 5—10%. Ошибка фотоколориметрического определения микроэлементов в дерно-под-

золистых и дерновых глеевых почвах и растениях составляла 9—12%, в торфяных и аллювиальных — 8—22%. Относительная ошибка атомно-абсорбционного определения микроэлементов, полученная при проверке правильности анализа методом добавок, составила $\pm 0,8—4,2\%$, фотоколориметрического — $\pm 7—12\%$.

Для марганца, меди и цинка проведено сравнение атомно-абсорбционного метода определения с химическим (фотоколориметрическим). Определение подвижных форм марганца и меди обоими методами дает близкие результаты. Хотя количественные показатели, полученные атомно-абсорбционным методом, как правило, отличаются от химических определений и в основном выше их. По-видимому, при химических определениях данных элементов имеют место потери, связанные с разнообразием и многочисленностью операций по подготовке образцов к фотометрированию.

Следует отметить, что определение содержания марганца данными методами более стабильно по сравнению с медью — относительная ошибка не превышает 4,1%. С увеличением концентрации меди в почве также увеличивается точность ее определения.

Аналогичная закономерность получена при определении меди, марганца, цинка в растениях.

Определение цинка в растениях фотоколориметрическим и атомно-абсорбционным методами дает более значительный разброс результатов, однако он не превышает 10 относительных процентов, что позволяет судить о надежности данных методов его определения.

Не отрицая полезности сравнения двух независимых методов определения микроэлементов, следует отметить, что такой прием не всегда может давать надежные результаты, и вряд ли следует отдавать предпочтение химическим методам анализа как контролирующим.

Научно обоснованное использование методов анализа должно базироваться прежде всего (мы здесь учитываем стоимость аналитических методов, их производительность и другие характеристики) на основе учета природного варьирования изучаемого показателя. Использование атомно-абсорбционного и фотоколориметрического методов при изучении биогеохимии микроэлементов правомочно, так как точность анализа в несколько раз выше природного варьирования содержания микроэлементов и удовлетворяет условиям неравенства:

$$0,5 \sigma_{\text{пр.}} \geq \sigma_{\text{ан.}} \geq \sigma_{0,3 \text{ пр.}}$$

где $\sigma_{\text{пр.}}$ — среднее квадратическое отклонение природное.

$\sigma_{\text{ан.}}$ — аналитическое.

Кроме аналитических работ, непосредственно связанных с определением микроэлементов, были проведены анализы по гранулометрическому валовому химическому составу почв, а также по агрохимическим свойствам почв и биохимическому составу растений (Методы агрохимических анализов почв, М., 1977; Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв, М., 1961; Инструкция для зональных агрохимических лабораторий по анализу кормов и растений, М., 1968, 1978).

Для оценки качества урожая, кроме содержания микроэлементов, в растениях определено количество аминокислот на аминокислотном анализаторе НД-1200 по методике, разработанной ЦИНАО (Инструкция по определению аминокислот в кормах для зональных агрохимических лабораторий, М., 1972).

Важным этапом исследований явилось установление полноценности питания сельскохозяйственных растений путем применения микроудобрений. Было заложено свыше 150 полевых опытов по изучению действия микроудобрений на урожай и качество ведущих сельскохозяйственных культур. Опыты проводились на основных типах почв — дерново-подзолистых, дерновых, аллювиальных и осушаемых торфяных — с учетом их свойств и запасов микроэлементов в 4—5-кратной повторности по методике Доспехова Б. А. (1972).

Все производственные опыты с микроудобрениями (около 100), выполненные в колхозах и совхозах области в период с 1967 по 1984 год, были обобщены и тщательно проанализированы.

Математико-статистическая обработка результатов анализов и полевых опытов проведена по Доспехову Б. А. (1972). Теория данного вопроса отражена в работах Фишера Р. А. (1958), Снедекора Дж. У. (1961), Вольфа В. Г. (1966).

Настоящая монография является результатом работы коллектива проектно-изыскательного центра агрохимической службы по проблеме микроэлементов в Калининградской области за последние 30 лет.

1. Общая характеристика почвенно-климатических условий Калининградской области

Калининградская область занимает самую западную часть Нечерноземной зоны Российской Федерации. Ее крайняя западная точка 19° 41" восточной долготы одновременно является самой западной точкой нашей страны. На юге область граничит с Польшей, на востоке по реке Шешупе и северо-востоке по реке Неман и его рукаву Северный с Литвой. С севера и запада область омывается Балтийским морем и его заливами (Куршским и Калининградским).

Площадь области — 15,1 тыс. кв. км, из которых 1,9 тыс. кв. км заняты морскими заливами и внутренними водоемами. Протяженность с запада на восток 205 км, с севера на юг — 108 км.

Рельеф области отличается значительным разнообразием. Особенно хорошо выражен его ледниковый характер с типичной грядовой холмистостью в юго-восточной и северо-западной частях области. На юго-западе слабохолмистый рельеф.

По устройству поверхности можно выделить 4 геоморфологических района: 1) древнеаллювиальный, 2) основно-моренный, 3) южный подпруженный район и 4) конечно-моренный.

Первый район — древнеаллювиальный — занимает основную территорию Куршской низменности и долины рек Преголи, Деймы и Инструча. Это пониженный район с отметками, близкими к уровню моря, имеет наибольшее скопление торфяных месторождений.

Куршская низменность относится к древнеледниковым равнинам. На этой территории под слоем торфа и молодых аллювиальных наносов обнаруживаются сортированные пески, которые в ряде мест выходят на поверхность в виде выступов, гряд и холмов.

Второй геоморфологический район — основно-моренный — занимает самую большую площадь. По рельефу это легковолнистая равнина с абсолютными отметками от 20 до 40 м над уровнем моря.

Третий геоморфологический район — *южный подпруженный* — занимает территорию южнее второго района и характеризуется равнинным или слабохолмистым рельефом. Почвообразующие породы сложены в основном средними и тяжелыми суглинками.

Четвертый геоморфологический район — *конечно-моренный* — располагается на западе и юго-востоке области и характеризуется скоплением холмов различной высоты и заболоченных глубоких котловин и озер.

Климат. Положение области у берегов Балтийского моря, а также близость Прибалтики к Атлантическому океану определяют основной характер климата. По сравнению с центральными районами Европейской территории России климат области характеризуется повышенной циклоничностью в течение всего года, особенно в зимний период, что вызывает частые оттепели и смягчает общий температурный режим зимы, а летом создает прохладную облачную и дождливую погоду.

Средняя годовая температура воздуха колеблется от 7—7,5°C на западе до 6,5°C на востоке области. Самым теплым месяцем является июль, а самым холодным — январь. Годовая амплитуда колебаний температуры воздуха заметно увеличивается с запада на восток. При вторжении на территорию области континентальных масс максимальная температура воздуха в июле-августе достигает 34—37°C, а в январе-феврале понижается до — 32—34°C. Такие морозы за период с 1891 по 1968 г. отмечались трижды (1929, 1942, 1956). Положительные (выше 0°C) средние суточные температуры воздуха в области устойчиво удерживаются с 17—19 марта по 26 ноября — 13 декабря, т. е. от 8,5 до 9 месяцев.

Среднегодовое количество осадков составляет 625—725 мм. В течение года осадки выпадают неравномерно. Около 70% их приходится на теплый период (апрель — октябрь). В период с февраля по май осадков выпадает мало.

По данным Федорова Е. Е. и др. (1961), количество осадков на территории области в отдельные годы изменяется в пределах 50—120% от средней нормы. Так, из 100 последних лет 10—12 лет были очень сухие (51—65% нормы годовых осадков), 35—38 лет — сухие (76—100%), 45—48 лет — влажные (101—125%) и 4—8 лет — очень влажные (126—150%). Авторы отмечают, что вероятность сухих и очень влажных лет соответственно составляет 11 и 6%.

Высота снежного покрова в среднем колеблется от 13—15 см на юго-западе и до 16—18 см на остальной территории. Наибольшей она бывает обычно в конце февраля. Первый снег выпадает в конце ноября, а устойчивый снежный покров образуется в конце декабря. Последний снег исчезает во второй половине апреля. Продолжительность снежного покрова 60—70 дней.

Глубина промерзания почвы в течение зимы составляет 36—47 см. В наиболее холодные зимы в некоторых районах почва промерзает на глубину более 100 см.

Время вегетации растений подразделяется на два периода: весенне-летний, охватывающий апрель, май, июнь, и летне-осенний — июль, август, сентябрь. Первый период характеризуется малым количеством осадков (около 160 мм). Уровень почвенно-грунтовых вод понижается, и влажность почвы уменьшается до нормальных величин. Нередки случаи, когда в это время пересыхает пахотный слой и растения страдают от засухи.

Летне-осенний период характеризуется избытком влаги. В среднем за этот период выпадает около 260 мм осадков. При слабом испарении создаются условия для избыточного увлажнения почвы. Уровень почвенно-грунтовых вод и степень влажности почвы резко возрастают.

Сезонные колебания температуры и влажности почвы способствуют интенсивному протеканию биологических процессов в почве. При этом довольно продолжительный безморозный период с благоприятной температурой и условиями увлажнения обуславливают быстрое разложение растительных остатков, а избыток влаги в осенний период — вынос за пределы пахотного слоя значительной части минеральных и органических соединений.

Почвообразующие породы области можно разделить на 5 генетических групп: ледниковые, водно-ледниковые, древнеаллювиальные и аллювиально-озерные отложения, а также погребенный торф.

Ледниковые отложения представлены валунными глинами, валунными тяжелыми, средними и легкими суглинками, а также валунными супесями. Нередко ледниковые отложения имеют двучленность в морфологическом строении, которая выражается почти повсеместно двумя различными по окраске и механическому составу горизонтами. Верхние слои сложены более рыхлыми, не однородными по окраске породами. Характерной особенностью ледниковых отложений являются повышенная их карбонатность, сравнительно прочные запасы элементов питания растений.

Водно-ледниковые отложения в основном представлены безвалунными тяжелыми иловатыми и ленточными глинами, которые морфологически различаются яркостью окраски. Встречаются кирпично-красные, красновато-коричневые и коричневатые-серые глины. Нередко водно-ледниковые глины выходят на дневную поверхность и являются почвообразующими породами. Безвалунные иловатые и ленточные глины характеризуются неблагоприятными физическими свойствами. Для них характерны слабая водопроницаемость

и, наоборот, слишком высокая влагоемкость, малая теплопроводность, способность деформироваться при переувлажнении и иссушении. Несмотря на сравнительно высокое содержание фосфора и калия в водно-ледниковых отложениях, для растений они малодоступны.

Среди ледниковых и водно-ледниковых отложений встречаются супесчаные и песчаные породы, которые на территории области имеют небольшое распространение. Чаще всего они расположены на возвышенностях. Мощность их колеблется от 60 см до двух метров. Супесчаные и песчаные породы отличаются слишком низким содержанием основных элементов питания для растений.

Аллювиально-озерные и древнеаллювиальные отложения залегают локально. По гранулометрическому составу они различаются от тяжелых иловатых глин до слоистых песков. Повсеместно в разрезах на аллювиальных отложениях различного гранулометрического состава наблюдается слоистость, что свидетельствует об участии в формировании этих пород паводковых и нагонных вод. По запасам элементов питания для растений аллювиальные отложения, особенно связного гранулометрического состава, отличаются значительным богатством.

Торф широко распространен на территории области. Встречаются все виды торфов: верховые, переходные и низинные. Однако наибольшее распространение и большую ценность представляет низинный торф. Низинный торф следует рассматривать как почвообразующую породу органогенного происхождения. От свойств торфогрунтов во многом зависят свойства почв торфяников. Практика многих хозяйств и исследования автора показывают, что оторфованные земли обладают высоким потенциальным плодородием и могут быть важным резервом в создании кормовой базы для животноводства области.

Подробная характеристика основных почвообразующих пород области приводится ниже, в главе 2.

Растительность области имеет свои особенности. Подавляющее большинство почв области первоначально возникло и развивалось под лесной растительностью и, несмотря на произошедшие значительные изменения растительного покрова, сохранило многие характерные признаки и свойства лесных почв.

Массовое уничтожение лесов с целью, главным образом, освоения площадей для сельскохозяйственного использования началось сравнительно недавно (всего несколько столетий тому назад) и продолжалось почти до последнего времени. В настоящее время леса занимают всего около 14% площади. Большая часть их представлена искусственными насаждениями.

Калининградская область выделяется из ряда областей России тем, что значительная ее часть занята луговыми угодьями (около 30% всей площади). Это приобретает особое значение, если принять во внимание, что пойменные луга составляют здесь всего 12% от всей площади сенокосно-пастбищных угодий, около 88% занимают луга материковые, из которых часть относится к низменным лугам водораздельных равнин, а другая часть — к суходольным сеяным.

Вследствие нарушения мелиоративных систем в военные годы значительная часть территории области подверглась вторичному заболачиванию, что обусловило изменения ботанического состава травостоя лугопастбищных угодий. Некоторые ценные травы начали выпадать, и на их месте появились плотнокустовые травы, такие как щучка дернистая, ситник и др. В послевоенные годы на территории области выполнен большой объем работ по мелиорации земель. В настоящее время мелиоративное хозяйство области представляет собой сложный комплекс инженерно-гидротехнических сооружений, включающий густую сеть водосборных и магистральных каналов, насосные станции, защитные дамбы и др.

Материковые луга в области все искусственные, поэтому чрезвычайно трудно установить какие-либо закономерности распределения различных луговых формаций и ассоциаций.

Особенностью развития растительности на территории области является высокий ежегодный прирост органической массы как у древесных, так и у травянистых растений, что объясняется благоприятными гидротермическими условиями. Указанное обстоятельство имеет большое значение для почвообразования, так как высокий ежегодный прирост обеспечивает и большое поступление органических веществ в почву.

2. Особенности процессов почвообразования и микроэлементный состав почвообразующих пород и почвенно-грунтовых вод

2.1 Характеристика основных почвообразующих пород

Начало почвообразования западной части Нечерноземной зоны Российской Федерации относится к послеледниковому периоду, когда начал устанавливаться умеренно-теплый и влажный климат, обусловивший быстрый рост травянистой и древесной растительности. Материнским субстратом формирования почвенного покрова

были различные наносы ледникового или водно-ледникового происхождения. Здесь наиболее закономерно прослеживается соответствие распространения элементов рельефа и почвообразующих пород, а также наблюдается тесная связь геоморфологических и почвенных ситуаций с основными фазами оледенения (Завалишин А. А., 1954).

На юго-западе региона ледниковые отложения представлены, главным образом, бескарбонатными валунными суглинками, на юго-востоке — флювиогляциональными разнозернистыми песками с прослойками галечников. В ряде мест песчаная толща прикрыта карбонатными валунными суглинками мощностью от 1,5 до 13 м. Равнинные элементы рельефа характеризуются ледниковыми отложениями в виде валунных суглинков и песков, а также водно-ледниковых песков, суглинков и глин.

Для западной приморской холмистой возвышенности Земландского полуострова характерными являются валунные суглинки, прикрытые маломощным супесчаным наносом. Эти породы, как правило, бескарбонатны.

Пологохолмистая размытая моренная равнина между реками Неман и Преголя представлена в основном ледниковыми карбонатными отложениями. В северной и западной ее частях преобладают валунные средние суглинки, прикрытые маломощным наносом более легкого механического состава, в южной — валунные глины и тяжелые суглинки, в восточной — безвалунные глины.

На территории абрадированной моренной равнины, простирающейся вдоль Калининградской впадины (по левому берегу реки Преголи), распространены двучленные наносы ледникового происхождения. Большей частью это хрящеватые средние или легкие суглинки, подстилаемые карбонатными тяжелыми валунными суглинками. Неглубокие долины и ложбины обычно заполнены молодыми наносами элювиально-делювиального происхождения в виде карбонатных безвалунных суглинков или супесей.

Озерно-ледниковые равнины представляют собой почти плоские слабо расчлененные поверхности, в пределах которых накапливались осадки ледниковых водоемов. Господствующими породами здесь являются озерно-ледниковые безвалунные карбонатные неслоистые тяжелые иловатые глины. Нередко на глубине 1,5 — 2 м от поверхности глины переслаиваются тонкими прослойками супеси. В большинстве случаев глины прикрыты маломощным (20—40 см) наносом более легкого гранулометрического состава, чаще всего безвалунными супесями или легкими суглинками.

На высоких террасах долин рек Преголи, Деймы, Инструча и на междуречье Немана — Шешупе почвы сформировались на наносах,

сложенных песками, чаще всего сортированными мелкозернистыми, реже — грубыми с галькой и гравием. В поймах рек преобладают средне- и тяжелосуглинистые аллювиальные наносы.

Своеобразным геоморфологическим районом является Куршская низменность, представляющая собой слегка наклонную к западу плоскую равнину. Моренные отложения здесь прикрыты древнеаллювиальными (дельтовыми) песчаными наносами. На большей части территории они залегают ниже уровня моря и покрыты более или менее мощными толщами торфа или современным аллювием. В восточной части низменности почвообразующие породы представлены довольно мощными средне- и тяжелосуглинистыми аллювиальными наносами, залегающими непосредственно на древнеаллювиальных песках; в центральной — древний аллювий скрыт под 2—4-метровой толщей торфа, на поверхности которого залегают маломощный (15—70 см) нанос среднесуглинистого аллювия.

В самом процессе образования почвенных пород на территории области имеются специфические особенности. Материнские породы формировались здесь под влиянием деятельности ледника и последующих процессов размыва и переотложения моренных образований. Исходным материалом для накопления толщи рыхлых наносов в основном послужили местные коренные осадочные породы, более или менее разнообразные по своему литологическому составу. Переотложение осадков водою способствовало дифференциации наносов. Это обусловило значительную пестроту почвообразующих пород по составу и распространению.

Специфической особенностью местных материнских пород является также широкое распространение в них карбонатных включений в виде осколков известняков или вторичных конкреций.

Наряду с целым рядом различий в условиях почвообразования на территории области по сравнению с государствами Прибалтики и Белоруссией, имеются и некоторые сходные черты. К числу последних относится, прежде всего, относительно молодой абсолютный возраст почвообразующих пород, связанный с тем, что они находятся в одной области последнего валдайского оледенения.

Почвообразующие породы Калининградской области, стран Прибалтики, а также Белоруссии аналогичны по минералогическому составу, что свидетельствует о единстве их происхождения. Наиболее широко распространенными минералами являются кварц, калиевые полевые шпаты, бесцветные слюды и гидрослюды, глауконит. Кроме этого, повсеместно, хотя и в незначительных количествах, встречаются роговая обманка, эпидот, гранат, рутил, сфен, дистен, турмалин. Некоторые породы в небольших количествах содержат цеонит,

апатиты, пироксены, анатаз, серцит, фосфориты, андалузит, аллофан, плагиоклаз.

Содержание отдельных минералов в разных породах неодинаковое. Моренные отложения содержат 45—70% кварца, 6—9 % калиевых полевых шпатов, 13—33% гидрослюд, 0,2—1,6% бесцветных слюд, 12—13% кальцитов и 0,1—0,7% глауконитов.

Безвалунные тяжелые глины водно-ледниковых отложений отличаются более низким количеством кварца (до 14%) и калиевых полевых шпатов (около 1%), а также более высоким содержанием гидрослюдов (около 76%). Содержание кварца и гидрослюдов в ленточных глинах составляет соответственно около 30 и 57%.

Супесчаные и песчаные породы на 80—90% состоят из кварца, 5—11% калиевых полевых шпатов, 1—5% гидрослюдов, 0,3—3% глауконита, до 6,5% фосфоритов и до 0,5% роговой обманки, эпидота, циркона, граната, рутила, плагиоклаза (Важенин И. Г., Белякова В. И., 1959; Завалишин А. А., Надеждин Б. В., 1961).

Почвообразующие породы Калининградской области значительно различаются по химическому составу (табл. 1).

Валовой химический состав пород хорошо согласуется с гранулометрическим составом: породы тяжелого гранулометрического состава содержат меньше кремнезема, больше глинозема и оксида кальция. Легкие породы, наоборот, обогащены кремнеземом и бедны глиноземом. Характерно, что в породах легкого гранулометрического состава нередко присутствует большое количество оксида кальция, апатитов и фосфоритов, что обусловлено, по-видимому, влиянием местных коренных осадочных пород.

Характерной особенностью почвообразующих пород области является низкое содержание оксида натрия при значительном количестве оксида калия, что находится в полном соответствии с минералогическим составом (калиевые полевые шпаты и примесь глауконита). Значительное варьирование наблюдается в содержании фосфора, обусловленное вариациями исходного минералогического состава (большей или меньшей примесью апатитов и фосфоритов).

Почвообразующие породы тяжелого гранулометрического состава, как правило, имеют повышенное содержание оксида марганца, а также оксида железа как абсолютное (около 9,5%), так и по отношению к количеству глинозема; низкую концентрацию оксида кальция, не связанного в виде карбонатов (около 1%); присутствие свободного карбоната кальция с небольшой примесью карбоната магния (до 20%); очень низкое содержание оксида натрия при весьма значительном количестве оксида калия и сравнительно высокое содержание фосфора.

Валовой химический состав почвообразующих пород

Породы	Показатели	Потери при прокаливании, %	Содержание (в % от прокаленной породы)									
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	
Моренные валунные суглинки, n=147	$\bar{x}$	4,3	75,2	11,5	3,9	0,07	0,8	1,3	0,05	3,0	0,6	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,25	6,1	0,8	0,2	0,01	0,06	0,11	0,001	0,16	0,04	
Моренные карбонатные суглинки, n=120	$\bar{x}$	5,2	66,1	12,2	4,4	0,11	1,6	1,6	0,04	2,3	0,7	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,33	5,3	0,7	0,3	0,02	0,12	0,12	0,001	0,11	0,05	
Моренные валунные пески и супеси, n=133	$\bar{x}$	1,8	86,7	6,5	3,1	0,15	0,7	0,5	0,05	2,2	0,3	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,11	4,0	0,5	0,2	0,03	0,04	0,03	0,001	0,08	0,02	
Водно-ледниковые безвалунные иловатые глины, n=126	$\bar{x}$	11,2	58,6	19,8	8,2	0,06	3,0	2,3	0,14	4,7	0,8	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,54	2,4	1,4	0,7	0,01	0,23	0,14	0,01	0,21	0,06	
Водно-ледниковые пылеватые суглинки, n=63	$\bar{x}$	2,5	77,7	10,2	4,9	0,08	1,1	1,0	0,14	3,2	0,7	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,14	6,8	0,7	0,3	0,01	0,09	0,06	0,01	0,19	0,05	
Озерно-ледниковые безвалунные глины, n=25	$\bar{x}$	10,6	53,8	20,4	9,6	0,05	0,9	0,7	0,12	4,1	0,9	
	$\pm S_{\bar{x}}$	1,8	8,1	2,6	0,8	0,01	0,07	0,04	0,01	0,20	0,08	
Озерно-ледниковые пески и супеси, n=185	$\bar{x}$	0,5	92,0	4,0	0,8	0,01	0,4	0,3	0,04	1,0	0,5	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,03	2,6	0,2	0,04	-	0,01	0,01	0,001	0,05	0,03	
Древнеаллювиальные сортированные пески, n=63	$\bar{x}$	0,6	91,8	4,1	1,0	0,01	0,6	0,6	0,05	1,8	1,0	
	$\pm S_{\bar{x}}$	0,05	2,2	0,1	0,05	-	0,02	0,04	0,001	0,08	0,08	
Погребенный торф, n=131	$\bar{x}$	49,8	20,5	9,6	4,9	0,02	2,3	1,1	0,2	0,7	0,4	
	$\pm S_{\bar{x}}$	3,7	1,0	0,7	0,3	-	0,17	0,07	0,02	0,04	0,03	

Химический состав безвалунных иловатых глин подтверждает их тесную генетическую связь с валунными суглинками и глинами. Различие в составе этих пород обусловлено, главным образом, большей или меньшей примесью кварца, что вызывает увеличение содержания кремнезема и падение относительного количества всех остальных оксидов. Отличительным является также увеличение содержания оксида железа и уменьшение количества оксида натрия. В остальном безвалунные глины можно рассматривать как накопление обедненной кварцем илистой фракции валунных суглинков.

По сравнению с финляндскими и шведскими озерно-ледниковыми глинами и суглинками, а также с валунными суглинками и ленточными глинами северо-запада Европейской части бывшего СССР тяжелые почвообразующие породы Калининградской области характеризуются преобладанием калия при малом содержании кальция, и особенно натрия, а также низким количеством оснований.

Особенность химического состава тяжелых почвообразующих пород свидетельствует о том, что они представляют собой аккумулятивные образования, обусловленные накоплением готовых продуктов выветривания. По своему составу и свойствам они являются сильно выветренными породами, состоящими из относительно устойчивых компонентов.

Валовой химический состав песчаных наносов находится в соответствии с их минералогией — господством кварца, заметным содержанием калиевых полевых шпатов и других, преимущественно цветных минералов тяжелой фракции с примесью глауконита, плагиоклаза, серицита и гидрослюда, что обуславливает наличие в них минеральных элементов, необходимых для питания растений. Содержание кремнезема в песчаных породах колеблется в пределах 90,9—94,3%, оксидов алюминия и железа — от 3,0 до 5,7%, оснований — от 2,4 до 4,1%, причем в составе последних преобладает калий при минимальном содержании магния.

К наиболее молодым породам этой территории относятся современные аллювиальные, аллювиально-озерные и аллювиально-дельта-иловатыми суглинками и глинами, средними пылеватыми суглинками, супесями и слоистыми песками. Данные породы наиболее распространены в долине и дельте реки Неман и на территории Куршской низменности. Аллювиальные отложения характеризуются неплотным сложением и наличием комковато-призматической структуры у тяжелых пород.

Отличительной особенностью аллювиальных наносов является отсутствие в них карбонатов. В ряде мест верхний слой суглинистого аллювия имеет нейтральную реакцию и высокое содержание элементов

питания для растений. Супесчаные и песчаные наносы, наоборот, бедны питательными элементами.

На территории Куршской низменности нередко почвы подстилаются погребенным торфом, характеризующимся повышенной зольностью с неравномерным распределением ее по профилю, значительным содержанием элементов питания (азота, фосфора и калия), по сравнению с торфами Белоруссии, а также Прибалтики и Среднерусской равнины (Дубиковский Г. П., 1975.; Завалишин А. А., Надеждин Б. В., 1961; Лупинович И. С. 1970, 1973).

2.2. Особенности почвообразования и почвенный покров

Почвенный покров Калининградской области, расположенной в самой западной части Нечерноземной зоны РФ, формируется в специфических природно-климатических условиях, характеризующихся приморским теплым и влажным климатом с равномерным распределением температур в течение всего года. Величина гидротермического коэффициента колеблется в пределах 1,5—1,7 (Федоров Е. Е. и др., 1961).

Благоприятные условия для произрастания растений обеспечивают значительный годовой прирост растительной массы, а следовательно, и ежегодное поступление органического вещества в почву. Благодаря высокой биологической активности почв здесь быстрый рост растительности сочетается с энергичной минерализацией органических веществ, что обуславливает интенсивность круговорота веществ в системе почва — растение.

Большая пестрота элементов рельефа и разнообразие в распространении почвообразующих пород предопределили пространственное различие в направленности почвообразовательных процессов с неодинаковым выносом элементов из верхних горизонтов почв. При этом в автоморфных почвах вынос элементов незначительный, а в полугидроморфных он усиливается при поверхностном увлажнении. В результате высокой биологической активности почв и интенсивной гумификации растительной массы при автоморфном типе увлажнения верхняя часть профиля почв обогащается кислыми продуктами разложения органического вещества, что приводит к образованию кислых почв.

Влажный климат способствует распространению полугидроморфных почв с интенсивным гумусообразованием, на хорошо проницаемых породах в почвенном профиле формируется аллювиально-гумусовый горизонт, а на слоистых породах наблюдается поверхностное оглеение.

В условиях поверхностного увлажнения происходит образование дерновых глеевых почв со значительной аккумуляцией гумуса. Только в верхнем (20 см) горизонте этих почв запас гумуса составляет 110—140 т/га. Постоянное избыточное увлажнение на пониженных элементах рельефа обусловило распространение на территории области торфяно-болотных почв преимущественно низинного типа.

Наряду с подзолистым, дерновым и болотным типами почв распространен также буроземный; идет процесс лессиважа. Однако, в силу вышеприведенных почвенно-климатических особенностей, эти процессы почвообразования нередко сопряжены друг с другом и в большинстве случаев сглаживают общие закономерности, присущие каждому из них, что является одной из главных причин региональных отличий как в морфологии, так и в химизме почв данного региона.

Существенное влияние на почвообразование здесь оказывает производственная деятельность человека. Это область с древней земледельческой культурой характеризуется высокой распаханностью земель и их окультуриванием, искусственным регулированием водно-воздушного режима путем интенсивной мелиорации. В таких специфических условиях процессы формирования почв претерпели качественно новые изменения, выражающиеся в усилении химического выветривания почвенных минералов за счет высокой биогенной активности почв, изменении форм связи органоминеральных соединений и их миграции и трансформации в почвенном профиле. В результате основные типы почв, особенно дерново-подзолистые, приобрели отличительные особенности от аналогичных почв других областей Нечерноземной зоны в составе, свойствах и закономерностях распределения веществ по профилю, которые заключаются в преимущественном накоплении хорошо гумифицированного органического вещества и относительно глубоком проникновении подвижных перегнойных веществ в почвенную толщу, значительной насыщенности основаниями профиля с равномерным распределением оснований и большинства химических элементов по генетическим горизонтам.

В связи с тем что основной целью наших исследований было изучение микроэлементной ситуации на сельскохозяйственных угодиях, нами в качестве объекта исследований были взяты все автоморфные и со слабыми признаками гидроморфизма почвы, представленные преимущественно дерново-подзолистыми почвами (подразделяющимися по гранулометрическому составу на песчаные и супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые и глинистые).

Исследовались также минеральные почвы, сформировавшиеся на междуречных пространствах в условиях избыточного увлажнения, среди которых наиболее распространены дерновые глеевые и глееватые почвы.

Пойменные территории долин рек и берегов заливов представлены в основном осушенными аллювиальными почвами, которые отличаются от почв на водоразделах более мощным гумусовым горизонтом и часто встречающимся хемогенным накоплением магния и кальция в почвенном профиле. Эти почвы используются как лугопастбищные угодья.

На территории Куршской низменности распространены торфяные почвы. Они имеют длительную историю осушения с помощью польдерных систем и используются для возделывания кормовых и овощных культур.

Обобщение фактического материала о химическом составе и свойствах разных типов почв показало значительное разнообразие их по основным признакам, что определено спецификой процессов их почвообразования (табл. 2).

Дерново-подзолистые почвы наиболее характерны для территории области. Они занимают 615 тыс. га, или 83% сельхозугодий. По гранулометрическому составу наибольшее распространение имеют средние и легкосуглинистые почвы, занимающие соответственно 28,4 и 27,9% площади. На долю тяжелосуглинистых почв приходится 16,3%, а песчаных и супесчаных — 10,5%.

Дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава неравномерно распределены на территории области. Песчаные и супесчаные почвы не образуют больших массивов, а встречаются пятнами или полосами среди других почв. Они распространены в основном на равнинных и слабохолмистых участках Земландского полуострова, побережьях Калининградского залива, террасами пойм рек и в юго-западной части Куршской низменности, а также в восточной части области на плоской озерно-ледниковой равнине. Данные почвы сформировались преимущественно на рыхлых породах легкого гранулометрического состава.

Песчаные и супесчаные дерново-подзолистые почвы сильно распаханы и лишь незначительная их часть находится под естественными лугами и пастбищами. Почвы сильно промыты, горизонты значительно растянуты и нечетко выражены. В таблице 3 приводятся статистические параметры состава и свойств дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв. По сравнению с аналогичными почвами на территории Европейской части РФ в результате длительного сельскохозяйственного использования и высокой окультуренности они имеют более мощный гумусовый горизонт и повышенное содержание гумуса.

Агрохимическая характеристика почв Калининградской области

Почвы	Объемная масса, г/см ³	Гумус, %	Мг-экв/100 г		V, %	Мг/100 г	
			Н	С		P ₂ O ₃	K ₂ O
Дерново-подзолистые тяжело- суглинистые и глинистые, n=313	1,66±0,02	3,12±0,13	1,72±0,07	20,1±0,34	92,2±1,02	9,5±0,42	16,1±0,54
среднесуглинистые, n=360	1,57±0,02	2,91±0,11	1,93±0,07	16,3±0,26	89,4±0,94	7,9±0,33	13,8±0,44
легкосуглинистые, n=682	1,53±0,01	2,18±0,06	2,31±0,06	13,4±0,15	85,3±0,66	6,1±0,19	10,9±0,25
песчаные и супесчаные, n=907	1,39±0,01	1,77±0,04	2,55±0,06	9,9±0,10	79,5±0,53	4,2±0,11	8,8±0,18
Дерновые глеевые и глееватые среднесуглинистые, n=180	1,55±0,03	3,44±0,17	1,33±0,07	21,9±0,47	94,3±1,35	12,1±0,69	14,7±0,63
легкосуглинистые, n=377	1,51±0,02	3,07±0,11	2,01±0,07	20,4±0,31	91,0±0,93	10,6±0,43	11,2±0,34
песчаные и супесчаные, n=200	1,32±0,02	2,28±0,12	2,39±0,12	15,8±0,34	86,9±1,24	7,2±0,41	9,0±0,39
Аллювиальные легко- и средне- суглинистые, n=279	1,17±0,03	7,21±0,30	5,24±0,22	38,7±0,68	88,1±1,04	13,4±0,63	21,8±0,77
песчаные и супесчаные, n=66	0,80±0,03	5,10±0,45	6,93±0,61	33,4±1,25	82,8±2,07	10,5±1,05	17,3±1,30
осушаемые торфяные, n=377	0,38±0,01	29,3±1,05	7,62±0,27	72,2±1,11	90,5±0,93	24,4±1,00	28,1±0,86

**Агрохимическая характеристика профиля дерново-подзолистой
песчаной почвы, п = 21**

Горизонт, глубина, см	Показатели	Физическая глина, %	Гумус, %	pH	Мг-экв/100 г почвы			V, %		Мг/100 г почвы	
					H	S				P ₂ O ₅	K ₂ O
Ап, 0-31	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	9,2±0,4	2,55±0,3	5,6±0,2	2,1±0,3	9,2±1,7		81,4±1,7		10,6±1,6	10,8±1,7
	V, %	19,7	57,3	13,2	61,9	84,1		66,0		68,0	73,0
AB, 31-54	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	10,5±1,0	0,98±0,2	5,6±0,2	1,6±0,2	6,1±1,1		82,8±12,2		12,4±2,4	5,3±0,91
	V, %	45,0	87,8	14,8	68,1	91,6		67,8		90,4	78,9
B, 54-87	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	12,6±1,0	0,44±0,1	5,8±0,2	1,4±0,2	8,0±1,1		91,0±11,9		18,6±2,6	5,5±0,88
	V, %	36,8	73,0	18,3	68,9	64,3		59,9		63,9	73,4
BC, 87-100	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	16,6±2,8	0,36±0,1	5,9±0,3	1,0±0,3	10,1±2,5		92,8±11,7		20,7±3,3	5,5±0,80
	V, %	75,5	108,3	19,4	111,0	113,9		57,7		74,0	65,2
C, 100-120	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	23,9±4,7	0,28±0,1	6,2±0,3	1,3±0,3	21,0±4,3		94,2±10,8		19,7±3,4	7,3±0,89
	V, %	89,1	107,1	19,8	110,8	93,1		52,4		78,2	55,8

Вторым характерным признаком рассматриваемых почв является неглубокое залегание водоупорных карбонатных пород, за счет которых идет насыщение верхних горизонтов почв кальцием и практически полная нейтрализация гумусовых кислот. Об этом свидетельствует относительно высокая степень насыщенности основаниями во всех генетических горизонтах, слабокислая реакция среды и постепенное увеличение названных показателей с глубиной. Для этих почв характерно также высокое содержание кремнезема и сравнительно малое количество подвижных форм фосфора, калия и других элементов.

Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы сформировались на повышенных участках среди моренных абрадированных и озерно-ледниковых равнин. Они занимают обширные территории северо-западной, юго-западной и восточной частей области. Почвообразующие породы представлены валунными суглинками среднего и легкого гранулометрического состава или двучленными породами, как правило, сверху более легкого, снизу — тяжелого состава. Длительное сельскохозяйственное использование рассматриваемых почв, аналогично легким почвам, оказало существенное влияние на почвообразовательный процесс и на их основные агрохимические свойства (табл. 4, 5).

В отличие от песчаных и супесчаных эти почвы имеют более высокие показатели основных агрохимических свойств и более четкую дифференциацию почвенного профиля, а также повышенное содержание глинных минералов, оксидов марганца, магния и натрия. Вместе с тем в рассматриваемых почвах имеет место ряд сходных признаков, к которым относятся слабокислая или близкая к нейтральной реакции среды во всех генетических горизонтах, высокая степень насыщенности основаниями, подобие закономерностей изменения содержания физической глины, гумуса и обменного калия по почвенному профилю.

Тяжелосуглинистые и глинистые почвы широко распространены в центральной и южной частях области на моренных и озерно-ледниковых равнинах и приурочены в основном к районам распространения почвообразующих пород тяжелого гранулометрического состава. Данные почвы сильно распаханы и интенсивно используются для выращивания различных сельскохозяйственных культур. Профили этих почв имеют ряд характерных особенностей, отличающих их от почв более легкого гранулометрического состава (табл. 6). Они обладают, как правило, более мощным гумусовым горизонтом с резким обрывом на глубине 24-28 см, признаками оглеения непосредственно под пахотным слоем. Вся почвенная толща в результате окультуривания насыщена основаниями и сверху имеет слабокислую или близкую к нейтральной реакцию.

**Агрохимическая характеристика профиля дерново-подзолистой
легкосуглинистой почвы, п=45**

Горизонт, глубина, см	Показатели	Физическая глина, %	Гумус, %	pH	Мг-экв/100 г почвы			V, %	Мг/100 г почвы	
					H	S			P ₂ O ₅	K ₂ O
Ап, 0-20	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	20,3±0,42	2,86±0,32	5,4±0,12	2,24±0,21	15,0±1,5		86,0±3,2	9,5±1,0	12,6±0,83
	V, %	14,1	75,0	14,8	62,9	66,0		25,3	68,4	44,4
AB, 20-32	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	24,7±1,29	1,49±0,17	5,6±0,13	2,55±0,19	15,7±1,2		86,0±2,5	10,2±1,1	7,8±0,89
	V, %	35,0	75,0	8	156	49,9		18,4	73,8	76,4
B, 32-87	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	25,9±1,51	0,98±0,09	5,0±0,09	2,33±0,19	18,9±2,0		89,0±2,0	12,9±1,2	7,8±0,68
	V, %	44,3	61,6	12,1	54,6	71,5		14,8	62,9	58,7
BC, 87-105	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	27,2±1,54	0,56±0,07	5,1±0,14	1,99±0,14	18,6±2,2		90,5±2,0	17,9±1,5	8,8±0,72
	V, %	37,9	87,5	18,4	47,1	79,2		13,9	56,7	54,9
C, 105-120	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	29,5±2,61	0,69±0,08	5,3±0,16	1,84±0,14	17,0±2,5		90,2±1,4	18,3±3,0	9,9±0,67
	V, %	59,4	81,2	20,2	51,0	98,5		10,0	110,4	45,6

Таблица 5

**Агрохимическая характеристика профиля дерново-подзолистой
среднесуглинистой почвы, п=21**

Горизонт, глубина, см	Показатели	Физическая глина, %	Гумус, %	рН	Мг-экв/100 г почвы			V, %	Мг/100 г почвы	
					Н	С	S		P ₂ O ₅	K ₂ O
Ап, 0-20	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	32,9±0,7	3,28±0,61	5,6±0,4	2,54±0,47	23,7±4,2		88,5±3,7	9,2±0,76	16,1±2,9
	V, %	6,0	85,5	32,9	49,0	47,3		11,0	22,0	48,1
AB, 20-36	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	38,2±3,1	1,04±0,21	5,6±0,5	2,41±0,29	29,3±3,5		94,3±2,4	15,6±3,1	9,4±1,0
	V, %	21,8	53,9	41,0	54,5	31,2		6,7	53,1	26,7
B, 36-80	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	38,0±6,6	0,49±0,06	5,1±0,4	2,02±0,12	29,7±6,9		93,7±3,0	14,2±4,5	9,0±1,7
	V, %	46,3	32,7	36,1	27,2	61,1		8,3	84,1	49,8
BC, 80-110	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	36,1±5,9	0,21±0,02	5,3±0,4	2,74±0,15	28,0±5,5		91,0±1,3	14,7±2,2	8,9±1,4
	V, %	43,0	25,2	34,7	25,2	53,3		3,4	38,8	42,9
C, 110-120	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	35,3±9,6	0,60±0,11	5,5±0,5	2,53±0,12	26,5±7,8		91,4±1,3	15,7±4,7	8,6±2,1
	V, %	72,3	46,7	41,8	21,8	77,8		3,4	78,9	63,5

Таблица 6

**Агрохимическая характеристика профиля дерново-подзолистой
тяжелосуглинистой почвы, п = 23**

Горизонт, глубина, см	Показатели	Физическая глина, %	Гумус, %	pH	Мг-экв/100 г почвы			V, %	Мг/100 г почвы	
					H	S			P ₂ O ₅	K ₂ O
Ап, 0-26	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	43,2±2,1	3,46±0,38	5,6±0,4	2,46±0,29	28,2±3,0		91,4±2,4	11,7±0,76	17,8±2,0
	V, %	23,6	52,1	36,3	56,8	51,3		12,4	31,2	53,8
AB, 26-37	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	55,7±4,2	2,05±0,19	5,2±0,3	3,18±0,31	31,6±2,4		90,8±1,9	19,3±1,7	20,9±1,7
	V, %	36,1	44,8	32,1	47,2	36,8		10,1	44,4	39,1
B, 37-95	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	59,2±5,4	1,11±0,08	6,5±0,6	0,97±0,08	26,3±3,3		96,4±2,0	14,9±2,4	19,4±2,3
	V, %	43,8	36,1	47,4	38,4	59,4		9,9	76,9	56,7
BC, 95-108	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	53,1±4,1	0,52±0,03	6,8±0,4	0,78±0,07	28,9±2,9		97,3±1,6	12,6±0,71	18,1±1,4
	V, %	37,1	24,9	27,9	42,1	48,3		7,8	27,2	36,8
C, 108-120	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	63,2±8,3	0,81±0,08	7,4±0,7	0,16±0,01	36,7±6,0		99,6±1,4	15,4±1,1	17,6±2,4
	V, %	63,4	47,6	43,2	36,6	78,1		6,6	33,6	66,4

**Валовой химический состав среднесуглинистой
дерново-подзолистой почвы, n = 36**

Гори- зонт	Пока- затель	Потеря от прокалива- ния, %	Содержание (в % от прокаленной почвы)								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
A	$\bar{x}$	4,92	82,8	10,8	1,6	0,08	0,11	1,21	0,67	1,44	1,09
	$\pm S\bar{x}$	$\pm 0,41$	$\pm 4,14$	$\pm 0,54$	$\pm 0,08$	$\pm 0,004$	$\pm 0,005$	$\pm 0,06$	$\pm 0,03$	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$
AB	$\bar{x}$	3,16	78,1	12,1	4,2	0,11	0,12	1,56	1,56	1,30	1,09
	$\pm S\bar{x}$	$\pm 0,32$	$\pm 3,90$	$\pm 0,60$	$\pm 0,21$	$\pm 0,005$	$\pm 0,006$	$\pm 0,08$	$\pm 0,06$	$\pm 0,07$	$\pm 0,05$
B	$\bar{x}$	3,56	74,3	14,3	4,2	0,17	0,14	2,03	1,78	1,72	1,09
	$\pm S\bar{x}$	$\pm 0,27$	$\pm 3,71$	$\pm 0,71$	$\pm 0,21$	$\pm 0,008$	$\pm 0,007$	$\pm 0,10$	$\pm 0,09$	$\pm 0,09$	$\pm 0,05$
C	$\bar{x}$	4,55	75,6	12,8	2,4	0,04	0,08	4,59	1,72	1,87	0,90
	$\pm S\bar{x}$	$\pm 0,38$	$\pm 3,78$	$\pm 0,64$	$\pm 0,12$	$\pm 0,002$	$\pm 0,004$	$\pm 0,23$	$\pm 0,09$	$\pm 0,09$	$\pm 0,04$

По валовому химическому составу дерново-подзолистые почвы с разным содержанием физической глины имеют сходные черты. В таблице 7 в качестве примера приведен валовой химический состав дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы на среднем валунном моренном суглинке.

О принадлежности этих почв к дерново-подзолистым можно судить лишь по бедности всеми окислами, за исключением кремнезема, и наличию иллювиального горизонта со значительным накоплением окислов алюминия, железа и марганца.

Дерновые глеевые и глееватые почвы занимают площадь около 25 тыс. га или 3,2% сельхозугодий и в равной степени представлены как средне-, так и легкосуглинистыми, а также песчаными и супесчаными почвами.

Рассматриваемые почвы приурочены в основном к отрицательным элементам рельефа и расположены среди моренных равнин и на плоских бессточных междуречных поверхностях озерно-ледниковых равнин. Они не образуют сплошных массивов и распространены отдельными участками преимущественно в центральной и южной части области.

Дерновые глеевые и глееватые почвы сформировались на исходно карбонатных глубоковыщелоченных породах, представленных моренными отложениями в виде валунных средних и тяжелых суглинков. Данные почвы обильно увлажняются поверхностными и почвенно-грунтовыми водами и характеризуются хорошо выраженным мощным гумусовым горизонтом, наличием признаков оглеения непосредственно под гумусовым горизонтом и отсутствием морфологических признаков подзолистости.

Валовый химический состав дерновой глеевой почвы свидетельствует о биогенной аккумуляции ряда окислов в верхнем горизонте, об очень слабом проявлении эллювирования, так что общий характер химической дифференциации профиля отражает лишь уровень выветренности и литологию почвообразующих пород (табл. 8).

Статистические параметры состава и агрохимических свойств дерновых почв свидетельствуют о некоторой специфике формирования химического состава (табл. 9). От дерново-подзолистых почв они отличаются более высоким содержанием гумуса и слабокислой реакцией в гумусово аккумулятивном горизонте, что свидетельствует о накоплении малоразложившихся растительных остатков, связанном с высокой влажностью верхних горизонтов. В ряде случаев подобное развитие процесса образования дерновых почв может привести к оторфовыванию верхнего горизонта.

Вследствие кратковременного или длительного избыточного увлажнения в дерновых почвах в отдельные периоды создаются

Валовой химический состав дерновой глеевой почвы, п = 32

Гори- зонт	Пока- затель	Потеря от прокалива- ния, %	Содержание (в % от прокаленной почвы)								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
A	$\bar{x}$	17,5	71,3	15,3	4,8	0,50	2,02	1,44	0,11	2,79	0,70
	$\pm S\bar{x}$	0,95	3,88	0,83	0,26	0,03	0,11	0,08	0,006	0,15	0,04
AB	$\bar{x}$	12,8	73,5	14,6	4,2	0,61	1,61	1,44	0,08	2,72	0,78
	$\pm S\bar{x}$	0,69	4,00	0,79	0,21	0,03	0,08	0,07	0,004	0,15	0,04
B	$\bar{x}$	5,1	70,6	16,6	5,4	0,68	1,41	1,86	0,05	2,27	0,70
	$\pm S\bar{x}$	0,28	3,85	0,90	0,29	0,04	0,06	0,09	0,002	0,12	0,04
BC	$\bar{x}$	6,2	61,7	20,5	8,0	0,53	2,29	2,99	0,08	2,99	0,78
	$\pm Sx$	0,34	3,33	1,11	0,43	0,03	0,08	0,16	0,004	0,16	0,04
C	$\bar{x}$	11,1	51,1	20,5	9,8	0,60	7,90	3,82	0,09	3,85	0,54
	$\pm S\bar{x}$	0,60	2,84	1,11	0,53	0,02	0,43	0,21	0,005	0,17	0,03

Таблица 9

Агрохимическая характеристика профиля дерновой почвы, n = 29

Горизонт, глубина, см	Показатели	Физическая глина, %	Гумус, %	pH	Мг-экв/100 г почвы			V, %	Мг/100 г почвы	
					H	S			P ₂ O ₅	K ₂ O
Ап, 0-28	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	42,9±4,9	4,8±0,71	5,0±0,09	2,6±0,30	37,4±5,6		93,5±2,5	8,4±0,83	20,0±2,3
	V, %	61,6	79,7	9,7	62,3	80,5		14,4	58,7	53,5
AB, 28-41	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	44,6±6,9	2,8±0,29	4,8±0,14	3,6±0,38	48,5±6,7		93,1±3,9	15,5±1,2	27,6±3,4
	V, %	83,4	55,8	15,6	56,8	74,5		22,7	42,8	66,0
B, 41-79	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	51,5±5,2	0,84±0,12	6,1±0,17	1,3±0,18	42,9±3,4		97,1±7,1	12,0±0,67	14,5±0,93
	V, %	54,4	77,0	15,0	72,4	42,7		39,4	30,2	34,5
BC, 79-91	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	60,3±2,4	0,42±0,04	6,7±0,21	0,97±0,10	39,6±4,1		97,6±4,3	9,7±1,0	7,9±0,58
	V, %	21,0	47,6	16,9	55,6	55,8		23,7	58,0	38,1
C, 91-120	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	70,2±6,6	0,61±0,06	7,1±0,13	1,2±0,20	47,8±4,8		97,6±2,6	14,4±1,7	9,0±1,2
	V, %	50,7	48,4	10,1	86,2	54,4		14,4	86,3	70,5

анаэробные восстановительные условия, оказывающие существенное влияние на содержание и миграцию химических элементов по почвенному профилю. Генетические горизонты этих почв имеют своеобразные морфологические признаки: железистые конкреции, ржавые или охристые пятна и прожилки, более или менее мощный сплошной глеевый горизонт в верхней части профиля.

Аллювиальные почвы пойменных лугов значительно распространены на территории области и занимают площадь около 70 тыс. га, или 8,6% площади сельхозугодий. Они расположены в поймах рек, на территории Куршской низменности и Гусевской древнеозерной впадины. Эти почвы характеризуются значительным разнообразием, обусловленным пестротой состава аллювия, изменениями водного режима, а также интенсивными мелиоративными осушительными мероприятиями.

Аллювиальные почвы сформировались на почвообразующих породах разного состава — от древнеаллювиальных песков и супесей до ледниковых глееватых глин и моренных валунных суглинков. В ряде мест эти почвы подстилаются погребенным торфом, а также многочленными или двучленными наносами.

На местах пересыхающих стариц, в притеррасной части поймы, не всегда заливаемой паводковыми водами, формируются аллювиальные слабодерновые оглеенные почвы, которые представляют собой неслоистую, иногда зернистую, оглеенную с поверхности почву среднего или тяжелого гранулометрического состава. Участие в образовании этих почв тяжелого по гранулометрическому составу аллювия с периодическим более или менее длительным избыточным увлажнением паводковыми и отчасти грунтовыми водами и послужило причиной развития в них процессов оглеения.

На территории Неманской низменности, которая ограждена дамбами, распространены маломощные аллювиальные почвы, подстилаемые торфом. Верхняя толща этих почв представлена аллювием различной мощности (от 2 до 80 см) среднего или тяжелого гранулометрического состава. До сооружения защитных дамб заторфованная поверхность низменности периодически заливалась талыми и нагонными водами, приносившими аллювий. После сооружения дамб отложение аллювия прекратилось, уровень почвенно-грунтовых вод понизился и началась минерализация торфа.

В приподнятой части Неманской низменности, в долинах рек Инструча и Преголи, а также на территории Гусевской древнеозерной впадины сформировались аллювиальные глубокодерновые почвы.

Согласно данным валового химического состава, в профиле аллювиально-луговой почвы отсутствует дифференциация. Различие наблю-

дается лишь в нижнем торфяном горизонте, где отмечается относительно высокое для торфа содержание кремнезема и полуторных окислов (табл. 10).

В таблице 11 представлены основные статистические параметры агрохимических свойств аллювиальных почв, сформировавшихся на погребенном торфе. Благодаря залеганию торфа данные почвы развиваются в условиях переменного окислительно-восстановительного режима.

Верхний гумусовый горизонт хорошо окультурен, довольно богат основаниями, фосфором и калием. В профиле этих почв имеются прослойки аллювия, различающиеся по гранулометрическому составу и агрохимическим показателям. Подстилающий торф характеризуется высокой зольностью, кислой реакцией среды, сравнительно низкой насыщенностью основаниями и слабой обеспеченностью фосфором и калием.

Характерной особенностью агрохимических свойств аллювиальных почв является высокое содержание фосфора и калия и значительно меньше — обменной кислотности и степени насыщенности основаниями.

Несмотря на благоприятные климатические условия для образования болот, торфяные почвы на территории области менее распространены по сравнению с другими областями лесной зоны РФ и занимают площадь 40,4 тыс. га, или 5,1% сельхозугодий. Это объясняется, прежде всего, наличием широко развитой густой сети мелиоративных сооружений.

Торфяные почвы распространены преимущественно на территории Неманской низменности, вдоль берегов Куршского и Калининградского заливов, в речных долинах, а также на Земландском полуострове. Эти почвы подвергаются длительному переувлажнению и осушаются польдерными системами, включающими защитные дамбы, насосные станции, шлюзы, сеть открытых канав и магистральных каналов.

Осушаемые торфяные почвы характеризуются специфическим валовым химическим составом (табл. 12). Для них характерна высокая зольность, значительное содержание оксидов алюминия, железа, кальция и марганца при очень низком количестве общего и подвижного фосфора, неравномерное изменение зольности и содержания оксидов по профилю, что свидетельствует о значительном участии аллювиальных процессов в их формировании.

Основные статистические параметры агрохимических свойств торфяных почв приведены в таблице 13. Относительными особенностями этих почв являются сравнительно высокое содержание органического вещества, слабокислая реакция среды, хорошая обеспечен-

Валовой химический состав аллювиальной почвы на погребенном торфе, п = 16

Таблица 10

Гори- зонг	Пока- затель	Потеря от прокалива- ния, %	Содержание (в % от прокаленной почвы)								
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
A	$\bar{x}$	20,0	69,0	12,7	5,2	2,0	1,6	0,04	2,1	6,4	0,65
	$\pm S_{\bar{x}}$	1,50	5,17	0,95	0,39	0,15	0,12	0,003	0,16	0,48	0,05
AB	$\bar{x}$	20,7	68,9	12,1	5,6	2,2	1,7	0,03	2,6	6,1	0,71
	$\pm S_{\bar{x}}$	1,55	5,16	0,91	0,42	0,16	0,13	0,002	0,19	0,45	0,05
B ₁	$\bar{x}$	22,3	66,3	14,0	5,8	2,3	1,7	0,03	2,1	6,3	0,73
	$\pm S_{\bar{x}}$	1,67	4,97	1,05	0,44	0,17	0,13	0,002	0,16	0,47	0,05
B ₂	$\bar{x}$	21,1	67,6	14,2	6,0	2,2	1,2	0,04	2,2	5,9	0,60
	$\pm S_{\bar{x}}$	1,58	5,07	1,06	0,45	0,16	0,09	0,003	0,16	0,44	0,04
BC	$\bar{x}$	26,5	66,6	13,6	6,3	2,1	1,8	0,03	2,5	6,2	0,70
	$\pm S_{\bar{x}}$	1,98	4,99	1,02	0,47	0,16	0,14	0,002	0,18	0,46	0,05
Ст	$\bar{x}$	55,9	64,2	14,0	6,3	2,7	2,0	0,13	2,4	4,4	1,83
	$\pm S_{\bar{x}}$	4,19	4,81	1,05	0,47	0,20	0,15	0,009	0,17	0,33	0,14

Агрохимическая характеристика профиля аллювиальной почвы, п = 30

Горизонт, глубина, см	Показатели	Физическая глина, %	Гумус, %	рН	Мг-экв/100 г почвы			V, %	Мг/100 г почвы	
					H	S			P ₂ O ₅	K ₂ O
Ап, 0-23	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	20,0±2,3	6,9±0,41	5,4±0,25	6,1±0,99	46,8±3,0		88,5±3,8	19±2,4	33
	V, %	61,5	32,6	25,4	89,0	35,0		23,4	69,2	65,2
AB, 23-35	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	23,9±3,4	3,3±0,18	6,3±0,36	1,9±0,17	29,4±2,5		93,9±2,8	12,9±1,0	19,1±1,2
	V, %	78,0	30,0	31,3	53,8	45,8		16,1	42,5	34,4
B, 35-60	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	38,0±4,2	4,6±0,32	6,0±0,48	2,4±0,21	33,2±3,0		93,3±3,7	12,0±0,9	14,6±1,1
	V, %	60,6	38,1	43,8	48,8	49,4		21,5	41,1	41,3
B ₂ , 60-70	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	6,4±0,6	0,57±0,06	5,6±0,51	2,9±0,24	21,6±2,4		88,2±3,7	5,1±0,7	9,4±0,5
	V, %	47,6	57,7	49,9	45,2	60,9		22,8	75,2	29,1
BC, 70-90	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	60,3±3,4	2,3±0,16	5,4±0,36	4,6±0,51	31,0±2,6		87,1±2,8	7,3±0,6	14,2±1,5
	V, %	30,9	37,8	36,5	61,0	45,8		17,4	45,0	57,9
Ст, 90-120	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	43,8±4,6	24,1±1,62	5,0±0,47	42,1±2,2	145±14,7		77,5±1,3	2,4±0,1	17,1±0,7
	V, %	57,6	36,8	51,5	28,6	55,6		9,2	22,8	22,4

Валовой химический состав осушаемой торфяной почвы, п = 12

Горизонт	Показатель	Зольность, %	В % на абсолютно сухое вещество							
			N	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Ат ₁ , 0-30	$\bar{x}$	28,8	2,54	20,5	12,6	9,9	3,3	0,20	0,68	
	$\pm S\bar{x}$	2,46	0,22	1,75	1,08	0,84	0,28	0,02	0,06	
Ат ₂ , 30-70	$\bar{x}$	18,9	1,16	14,3	11,2	9,2	5,4	0,09	0,59	
	$\pm S\bar{x}$	1,62	0,09	1,22	0,96	0,78	0,46	0,008	0,05	
Ат ₃ , 70-115	$\bar{x}$	13,6	1,02	11,0	11,0	8,6	7,6	0,02	0,62	
	$\pm S\bar{x}$	1,16	0,08	0,94	0,94	0,74	0,65	0,001	0,06	
BC, 115-135	$\bar{x}$	90,9	0,42	80,2	17,2	5,9	86	0,06	2,05	
	$\pm S\bar{x}$	7,79	0,04	6,87	1,47	0,51	0,74	0,002	0,17	
C, 135-169	$\bar{x}$	89,9	0,33	68,4	19,9	10,1	18,1	1,08	3,24	
	$\pm S\bar{x}$	7,70	0,03	5,86	1,70	0,87	1,55	0,003	0,28	

Агрохимическая характеристика профиля осушаемой торфяной почвы, n = 41

Горизонт, глубина, см	Показатели	Зольность, %	Органичес- кое веще- ство, %	рН	Мг-экв/100 г почвы		V, %	Мг/100 г почвы	
					Н	S		P ₂ O ₅	K ₂ O
Ao ¹ , 0-30	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	28,8±1,4	26,7±1,9	6,2±0,13	34,2±1,8	67,2±5,2	77,6±1,5	15,8±1,9	30,0±2,5
	V, %	32,0	45,9	13,9	34,3	49,1	12,6	78,7	53,2
T ¹ , 30-70	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	18,9±1,1	21,5±2,5	6,1±0,14	33,7±1,4	77,5±6,3	73,5±1,8	8,0±0,79	17,5±1,2
	V, %	37,6	75,9	14,5	27,0	52,2	15,6	63,5	42,6
T ² , 70-115	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	13,6±0,28	25,2±2,9	5,8±0,12	36,7±1,4	59,7±3,8	71,8±0,94	5,1±0,53	21,7±1,4
	V, %	13,1	73,9	12,9	24,7	40,4	8,4	66,0	42,4
115-135	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	90,9±0,97	1,4±0,15	6,8±0,17	0,8±0,10	18,4±1,9	94,6±0,54	18,5±1,8	9,9±1,2
	V, %	6,8	70,6	16,3	76,3	65,5	3,6	61,4	75,5
135-169	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	89,9±1,7	0,88±0,10	5,5±0,15	1,2±0,12	34,3±2,8	95,5±0,86	52,5±5,0	15,5±1,3
	V, %	12,1	72,7	12,5	65,7	51,3	5,9	61,4	52,3

ность элементами питания, в частности подвижным фосфором и обменным калием, неравномерное изменение агрохимических показателей по профилю.

Изучению почв области посвящены работы многих исследователей. История освоения земель Восточной Пруссии широко представлена в работах Альтгаузена Л. (1896), Берша В. (1912), Ринделя А. (1910), закономерности и условия почвообразования изучены Завалишиным А. А., Надеждиным Б. В. (1954, 1961), агрохимические свойства почв рассмотрены в работах Важенина И. Г., Беляковой В. И. (1959), Панасина В. И. (1970, 1974).

В результате научных исследований почвенной экспедицией Почвенного института АН СССР и работы Завалишина А. А., Надеждина Б. В. (1961), проведенных на территории области, выделено более 80 разновидностей почв, которые могут быть сгруппированы по ряду основных признаков в 6 групп с учетом их генезиса, характера почвообразовательного процесса, географического распространения, гранулометрического состава и других признаков. На рисунке 1 шесть групп обозначены определенной штриховкой.

В первую группу включены дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые почвы, имеющие в большинстве случаев слабое или сильное оглеение в нижней части профиля. Это почвы, сформировавшиеся на породах тяжелого гранулометрического состава, представлены тяжелыми моренными суглинками, карбонатными глинами, валунными и безвалунными водно-ледниковыми суглинками.

Вторую группу образуют дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы, залегающие на водно-ледниковых средних и легких суглинках или двучленных отложениях в виде подстилающей породы среднего или тяжелого гранулометрического состава, прикрытой более легким наносом.

Третья группа представлена дерново-подзолистыми легкосуглинистыми почвами на разных почвообразующих — ледниковых средних и тяжелых суглинках, двучленных отложениях и карбонатных супесях, а также на легких суглинках.

К четвертой группе относятся дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, расположенные преимущественно в долинах и на верхних террасах рек, а также на берегах заливов и Балтийского моря. Это почвы, залегающие на водно-ледниковых супесях и песках, в ряде мест — на двучленных отложениях. По сравнению с глинистыми и суглинистыми почвами в песчаных и супесчаных почвах в меньшей степени проявляются признаки оглеения.

В пятую группу вошли дерновые глеевые и аллювиальные почвы материковых и пойменных лугов. Почвы этой группы характеризуются

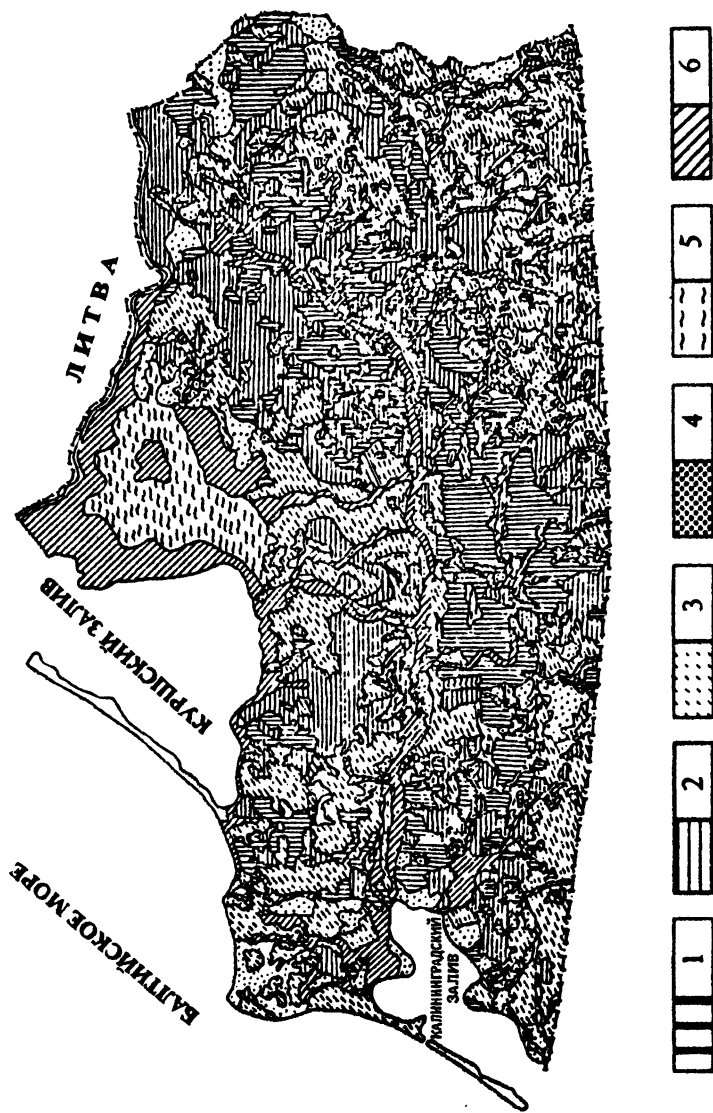


Рис. 1. Картохема основных типов почв Калининградской области

большим разнообразием почвенных разновидностей. Сюда включены дерновые глеевые и глееватые почвы на карбонатных суглинках и глинах, аллювиальные и дерновые на суглинистом или песчаном аллювии и аллювиальные почвы на погребенном торфе.

Шестую группу образуют осушаемые торфяные почвы, подстилаемые древнеаллювиальными наносами, представленными иловатыми сизыми глинами и сортированными песками, залегающими на тяжелых и средних суглинках.

Характерными особенностями этих почв являются относительно высокая зольность торфа и неравномерное, слоистое изменение ее по профилю, что также свидетельствует о специфичности формирования этих почв под влиянием аллювиальных наносов.

2.3. Специфика микроэлементного состава почвообразующих пород и почвенно-грунтовых вод

Почвообразующие породы являются одним из основных источников поступления элементов питания в пахотный слой. Установлено, что количество макро- и микроэлементов в почве определяется содержанием их в почвообразующей породе. В процессе почвообразования происходит значительное перераспределение химических элементов материнских пород, однако специфические особенности в химии минеральных элементов материнских пород практически всегда сохраняются в развивающихся на них почвах. Существует тесная связь между содержанием химических элементов в почвах и почвообразующих породах.

Широкое варьирование химических элементов, в том числе микроэлементов, в почвах определяется главным образом разнообразием почвообразующих пород, различием их по минералогическому и химическому составу. Главным фактором, определяющим содержание микроэлементов в почвообразующих породах, является состав первичных минералов.

Концентрация микроэлементов в почвообразующих породах колеблется в широких пределах. Установлено, что основные и ультраосновные породы содержат больше кобальта, меди, цинка и других элементов по сравнению с гранитами и сиенитами. Так, кобальта в основных породах содержится 25—52 мг/кг, цинка — больше 130 мг/кг, а в гранитах соответственно 15 и 20 мг/кг. Содержание кобальта в девонских песчаниках колеблется в пределах от 0,2 до 3,5 мг/кг, в силурийских известняках и доломитах — от 0,15 до 1,8 мг/кг, в ордовинских отложениях — от 0,15 до 4,95 мг/кг, в

моренных отложениях — от 0,25 до 8,0 мг/кг, в древнеледниковых песках — от 0,25 до 1,25 мг/кг, в глинах — от 5,7 до 9,5 мг/кг. Содержание в почвообразующих породах колеблется от 70 мг/кг в флювиогляциальных песках до 1600—2300 мг/кг в слюистых сланцах. Разные почвообразующие породы содержат неодинаковое количество молибдена. Так в коричневых глинах и аллювиальных суглинках варьирование составляет от 0,06 до 0,26 мг/кг, озерно-аллювиальных отложениях — 0,18—0,33, аллювии — 0,26—0,87, тяжелых суглинках и глинах — 1,56—1,74 мг/кг. Количество молибдена в почвообразующих породах Эстонии колеблется от 0,15 до 2,78 мг/кг.

Имеющиеся в литературе данные о содержании микроэлементов в почвообразующих породах России, Белоруссии и Прибалтики обобщены и представлены в таблице 14 (Андрианова Г. А., 1970; Лукашев К. И., Петухова Н. Н., 1970; Бутузова О. В., Сергеева Ж. В., 1971; Руднева Е. И. и др 1972; Анспок П. И., 1972; Дубиковский Г. П., Алисиевич М. К., 1975).

Приведенные данные свидетельствуют о значительной пестроте микроэлементного состава не только разных типов почвообразующих пород, но и пород одного вида, что связано с их различием по минералогическому составу, неодинаковыми условиями формирования и другими признаками.

Сопоставление данных о содержании микроэлементов в почвообразующих породах свидетельствует об относительно низком их количестве в породах Белоруссии и Прибалтики по сравнению со средними величинами по почвообразующим породам РФ.

С целью установления роли почвообразующих пород в формировании химического состава почв Калининградской области, нами исследовались различные по составу и генезису породы: озерно-ледниковые и древнеаллювиальные пески, моренные валунные супеси, моренные и водно-ледниковые суглинки и глины.

В процессе формирования рыхлых ледниковых отложений происходила дифференциация минерального вещества и перераспределение химических элементов, что привело к образованию пород, резко отличающихся не только по составу, но и по содержанию в них микроэлементов (табл. 15).

Изучение микроэлементного состава почвообразующих пород Калининградской области и сравнение полученных результатов с литературными данными свидетельствуют о том, что количество микроэлементов в породах области ниже, чем в породах Белоруссии и РФ и соизмеримо с содержанием последних в почвообразующих породах Прибалтики, что свидетельствует о генетическом единстве их происхождения (Лукашев К. И., Петухова Н. Н., 1970;

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах России, Белоруссии и Прибалтики, мг/кг

Породы	Содержание микроэлементов					
	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Российская Федерация (средние данные)</i>						
Глины	150-140	25-40	620-800	1-20	8-52	до 54
Покровные суглинки	18-22	9-26	600-650	2,9-3,2	11,8-14	30-49
Пески	10-20	3,2-8,0	70-200	след-0,8	2,9-4,2	8,2-28
<i>Белоруссия</i>						
Озерно-ледниковые глины	34-43	26,2-30,5	500-540	1,8-2,0	1,3-14	до 62,5
Моренные валунные суглинки	9-27,4	5,9-17,5	390-414	0,5-2,8	2,1-8,4	15-49,2
Флювиогляциальные и древне-аллювиальные пески	2,5-6,9	3,7-7,0	115-151	0,2-0,6	след-3,0	до 15,9
<i>Прибалтика</i>						
Древнеледниковые глины	12,6-36	8-23	300-520	1,2-2,8	5,7-9,5	32-59
Моренные валунные суглинки	3,8-24	6-10	210-420	0,4-2,5	2,2-7,6	12,43
Древнеледниковые пески	1,8-7,4	2-7,3	70-180	0,2-0,8	0,3-1,3	8-24

**Содержание микроэлементов в почвообразующих породах
Калининградской области, мг/кг**

Порода	n	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Водно-ледниковые без- валунные глины	126	16,1±0,11	11	18,4±0,32	29	378±16,1	71	1,1±0,03	49	13,7±0,24	30	46,5±1,13	39
Моренные валунные суглинки	144	5,3±0,10	35	6,0±0,13	39	234±3,8	29	1,7±0,01	13	8,6±0,05	11	29,3±0,21	13
Водно-ледниковые без- валунные пылеватые суглинки	63	5,9±0,15	30	9,1±0,22	29	286±7,2	30	1,6±0,02	15	9,2±0,14	18	35,8±0,14	27
Моренные валунные супеси	103	3,8±0,14	56	4,9±0,10	31	105±2,1	30	0,9±0,02	34	5,3±0,08	23	20,2±0,26	20
Озерно-ледниковые без- валунные пески	185	2,6±0,03	16	3,9±0,07	25	53±1,8	47	0,5±0,01	28	1,2±0,02	23	12,1±0,19	22
Древнеаллювиальные сортированные пески	63	2,1±0,02	11	3,2±0,05	18	45±1,6	42	0,6±0,01	20	1,0±0,02	24	10,3±0,14	16
Погребенный торф	131	9,3±0,14	25	24,9±0,25	17	336±5,4	25	1,2±0,03	37	1,8±0,04	38	9,7±0,18	31

Ковда В. А., Зырин Н. Г., 1973; Дубиковский Г. П., Алисеевич М. К., 1975; Пейве Я. В., 1980).

Содержание микроэлементов в почвообразующих породах зависит от их гранулометрического состава. Исследованиями многих авторов (Свирновский Л. Я. и др., 1971; Тойка М. А., 1980; Перевозчикова Е. М., 1983) доказано, что почвообразующие породы тяжелого гранулометрического состава отличаются более высоким количеством микроэлементов по сравнению с легкими породами. Установлено, что низкое содержание микроэлементов присуще супесчаным и легкосуглинистым моренным отложениям, флювиогляциальным, водно-ледниковым и древнеозерным пескам и супесям. Более высокой концентрацией микроэлементов отличаются тяжелосуглинистые моренные отложения, озерно-ледниковые суглинки и глины, а также рыхлые аллювиальные наносы.

Подобная зависимость между содержанием физической глины и количеством микроэлементов установлена и для почвообразующих пород области. Наиболее бедными являются песчаные породы, которые на 90 и более процентов состоят из кремнезема и обеднены не только калием, кальцием, магнием, но и медью, кобальтом, молибденом, бором и другими микроэлементами. Как свидетельствуют данные таблицы 15, моренные валунные супеси, озерно-ледниковые и древнеаллювиальные пески содержат в среднем от 2,1 до 3,8 мг/кг бора, от 3,2 до 4,9 мг/кг меди, от 45 до 105 мг/кг марганца, от 0,5 до 0,9 мг/кг молибдена, от 1,0 до 5,3 мг/кг кобальта, от 10,3 до 20,2 мг/кг цинка. Однако песчаные и супесчаные породы отличаются значительной вариацией в содержании микроэлементов. В песках они изменяются от 11% (бор) до 47% (марганец), в супесях — от 20 (цинк) до 56% (бор).

На территории Калининградской области значительно распространены моренные суглинки, которые характеризуются разнородностью гранулометрического состава, высоким содержанием валунов, хряща и песчаных частиц. Локальное распространение имеют также водно-ледниковые безвалунные пылеватые суглинки. Эти породы в связи со значительным содержанием глинистых вторичных минералов более богаты микроэлементами, и, естественно, формирующиеся на таких породах почвы обладают более высоким плодородием. Суглинистые породы области содержат в среднем 5,3—5,9 мг/кг бора, 6,0—9,1 мг/кг меди, 234—286 мг/кг марганца, 1,6—1,7 мг/кг молибдена, 8,6—9,2 мг/кг кобальта, 29,3—35,8 мг/кг цинка. Вариация содержания микроэлементов в суглинках изменяется от 11% (кобальт) до 35% (бор). Относительно невысокая вариация содержания микроэлементов в разного вида суглинках является одним из следствий их близости по

минералогическому составу, а также сравнительно небольшому расхождению по количеству частиц диаметром меньше 0,01 мм. Количество физической глины в суглинках изменяется от 23,1 до 43,6% и в легких суглинках составляет 20,6—26,4; средних 31,5—37,5; тяжелых — 41,8—43,6%.

Наиболее богаты по вещественному составу глинистые породы. В связи с высоким содержанием гидрослюд и вторичных глинистых минералов данные породы обогащены калием, фосфором, кальцием, магнием и другими элементами. Они характеризуются высокой емкостью поглощения, содержат больше адсорбированных элементов, в том числе и микроэлементов. Содержание бора в водно-ледниковых безвалунных глинах составляет в среднем 16,1 мг/кг, меди — 18,4 мг/кг, марганца — 378 мг/кг, молибдена — 1,1 мг/кг, кобальта — 13,7 мг/кг, цинка — 46,5 мг/кг. Для данных пород характерна более высокая вариация содержания микроэлементов — от 11% (бор) до 71% (марганец).

Относительно большим количеством бора, меди, марганца, молибдена и меньшим — кобальта и цинка характеризуется погребенный торф.

По абсолютному содержанию всех исследованных микроэлементов почвообразующие породы Калининградской области образуют следующий ряд: водно-ледниковые безвалунные глины > погребенный торф > водно-ледниковые безвалунные пылеватые сунлики > моренные валунные суглинки > моренные валунные супеси > озерно-ледниковые безвалунные пески > древнеаллювиальные пески.

Несмотря на сходство по микроэлементному составу почвообразующих пород Прибалтики и Калининградской области, в последних имеют место отличительные особенности, к которым относятся более высокое количество кобальта и менее значительная вариация концентрации микроэлементов в отдельных породах. Характерной особенностью тяжелых почвообразующих пород области является преобладание гидрослюдисто-вермикулитовой ассоциации глинистых минералов, с которой связана повышенная концентрация кобальта.

Сравнительно невысокие величины коэффициентов вариации, позволяющие дать количественную оценку уровней колебания содержания микроэлементов в почвообразующих породах области, свидетельствуют о некоторой однородности минералогического состава отдельных видов пород. Пониженное содержание микроэлементов в породах области объясняется также отсутствием в их составе пород — носителей данных элементов.

На содержание и распределение микроэлементов в почве, их миграцию и трансформацию, в том числе и на закрепление в гумусовом

горизонте, существенное влияние оказывают почвенно-грунтовые воды. Химический состав почвенно-грунтовых вод весьма разнообразен и определяется геологическими, физико-географическими, биологическими, антропогенными и другими условиями их формирования. Как отмечал академик Вернадский В. И. (1965), природная вода представляет собой важную динамическую систему равновесия, находящуюся в тесной связи с окружающей средой.

Изучение химического состава почвенно-грунтовых вод в условиях Калининградской области имеет особую актуальность. Область находится в зоне избыточного увлажнения и является областью древней земледельческой культуры с хорошо развитой мелиоративной системой.

Разнообразие элементов рельефа, почвообразующих пород и мелиоративных осушительных систем создает неодинаковые условия гидрологического режима, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на химический состав почвенно-грунтовых вод (табл. 16).

Результаты анализа дали несколько неожиданную, но вполне определенную картину. Прежде всего, оказалось, что по величине сухого остатка, а также по количеству минеральных и органических веществ и химическому составу почвенно-грунтовые воды восточной части области резко отличаются от вод западной и северной части. Наиболее высокое содержание сухого остатка органического вещества и кремнезема, отмеченное в почвенно-грунтовых водах северной части области, по-видимому, связано со значительным распространением здесь легких аллювиальных и торфяных почв, интенсивно осушаемых польдерными системами.

По составу растворенных веществ все исследованные воды относятся к группе гидрокарбонатных с заметной примесью сульфата и небольшим количеством хлорида, но по концентрации и по соотношению между компонентами, главным образом между катионами, отличаются друг от друга.

Почвенно-грунтовые воды восточной части области отличаются небольшой минерализацией, имеют слабощелочную реакцию, магний и кальций содержат примерно в равных количествах. В них имеется заметная примесь сульфатов и немного хлоридов. Воды восточной части области имеют почти нейтральную реакцию и характеризуются очень низкой степенью минерализации.

Почвенно-грунтовые воды северной части области имеют слабокислую или близкую к нейтральной реакцию среды и резко выделяются более высокой концентрацией хлоридов и сульфата-

Химический состав почвенно-грунтовых вод Калининградской области

Районы	Показатели	pH	Мг/л				Мг-экв/л				
			сухой остаток	сумма минеральных веществ	в т. ч. SiO ₂	сумма органических веществ	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca ⁺²	Mg ⁺²
Северная зона области											
Славский, п=60	$\bar{x}$	6,2	938	412	42	526	3,7	0,45	1,5	3,6	1,4
	$\pm S\bar{x}$	0,18	118	48	5,7	76	0,46	0,05	0,13	0,28	0,18
	V, %	22,5	97,5	90,9	105	113	97,3	93,3	66,6	61,1	102
Полесский, п=39	$\bar{x}$	5,9	666	306	34	360	3,1	0,22	2,2	3,0	1,1
	$\pm S\bar{x}$	0,13	84	26	5,2	60	0,53	0,03	0,33	0,37	0,19
	V, %	13,6	78,7	53,3	94,7	104	107	90,9	92,7	76,6	109
Зеленоградский, п=33	$\bar{x}$	5,6	517	322	51	195	3,6	0,31	2,6	2,5	0,7
	$\pm S\bar{x}$	0,19	77	36	7,3	18	0,58	0,05	0,51	0,21	0,09
	V, %	19,6	85,9	65,0	82,4	53,8	91,7	96,1	111	48,0	71,4
Восточная зона области											
Краснознаменский, п=74	$\bar{x}$	7,8	491	256	11,0	235	8,1	0,21	0,6	4,1	2,5
	$\pm S\bar{x}$	0,13	28	11	0,33	6,7	0,5	0,03	0,03	0,18	0,17
	V, %	13,8	48,9	37,6	25,5	24,7	53,1	119	50	37,1	60,0
Неманский, п=58	$\bar{x}$	7,7	466	261	13,6	205	9,3	0,29	0,6	6,0	0,5
	$\pm S\bar{x}$	0,15	32	10	0,3	9,8	0,72	0,03	0,04	0,33	0,01
	V, %	15,2	52,2	30,0	16,9	36,6	59,1	82,8	50	41,7	20,4
Западная зона области											
Багратионовский, п=81	$\bar{x}$	7,3	165	91	11,1	74	1,3	0,07	0,3	1,0	1,4
	$\pm S\bar{x}$	0,11	6,2	1,8	0,36	3,2	0,04	—	0,01	0,02	0,07
	V, %	14,0	33,6	17,7	28,8	39,2	25,4	35,8	33,3	20,0	42,9

тов, а также значительным преобладанием кальция в составе катионов.

Полученные данные анализа вод находятся в полном соответствии с особенностями почвенного покрова и гидрологического режима на территории названных районов. Они показывают, что в отдельных районах области в толще пород имеются остатки солей, в составе которых присутствуют не только карбонаты, но и сульфаты и даже хлориды магния. По-видимому, в восточной части области эти соли находятся в больших количествах, чем в западных. Почвообразующие породы восточных районов содержат также гораздо больше карбонатов кальция. Более высокое содержание хлоридов и сульфатов в почвенно-грунтовых водах северных районов области связано с более интенсивным осушением земель.

Наряду с исследованием почв представляет интерес изучение микроэлементного состава почвенно-грунтовых вод.

Содержание того или иного элемента в почвенно-грунтовых водах зависит от свойств самого элемента (внутренние факторы миграции) и от той обстановки, в которой мигрируют (внешние факторы миграции). Почвенные условия (содержание солей щелочных и щелочноземельных металлов, реакция среды, количество растворенного органического вещества, окислительно-восстановительные условия) определяют поведение микроэлементов в почвенно-грунтовых водах.

Так, например, бор присутствует в почвах в виде очень подвижного аниона борной кислоты. Однако низкое содержание его в почвенно-грунтовых водах может объясняться обедненностью им почвообразующих пород и слабой выщелачиваемостью этого элемента из-за слабокислой или нейтральной реакции вод. Наиболее интенсивно бор вымывается из почвообразующих пород щелочными или сильнокислыми водами с низким содержанием ионов — осадителей кальция и магния.

Медь относится к подвижным и слабоподвижным водным мигрантам в окислительной среде и инертным — в восстановительной, а марганец из-за способности менять валентность, наоборот, более подвижен в восстановительных условиях и малоподвижен в окислительных.

Органическое вещество в почвенно-грунтовых водах оказывает защитное действие на коллоиды гидроокисей металлов. Органо-минеральные комплексы типа хелатов обладают высокой подвижностью, и металлы-микроэлементы в их составе могут мигрировать с почвенно-грунтовыми водами.

На содержание микроэлементов в почвенно-грунтовых водах существенное влияние оказывает реакция среды. Например, кислые

воды содержат больше марганца, кобальта и других микроэлементов, чем щелочные.

Присутствие в воде гуминовых кислот удерживает медь в интервале рН 6,5—9,0. Выпадение гидроокисей меди из растворов происходит при рН 5,4. Цинк вследствие своего амфотерного характера подвижен как в кислых, так и в щелочных водах.

Кобальт относится к малоподвижным водным мигрантам, большая часть его переносится во взвешенном состоянии (адсорбция глинистыми частицами). Возможна миграция этого элемента в виде гидрокарбоната, а также с гумусовыми веществами.

Молибден также относится к слабым мигрантам, особенно в условиях влажного климата и слабокислой реакции вод, т. к. легко адсорбируется гидроокисями железа и алюминия, фиксируется фосфатами и глинистыми минералами.

Обобщение многочисленного литературного материала позволило установить, что содержание марганца в почвенно-грунтовых водах колеблется в пределах от 0,2 до 158 $\gamma/\text{л}$, меди — от 1 до 98 $\gamma/\text{л}$, кобальта — от 0,24 до 1 $\gamma/\text{л}$, бора — от 0,8 до 10 $\gamma/\text{л}$, молибдена — от 0,1 до 31,3 $\gamma/\text{л}$.

Обширные исследования микроэлементного состава почвенно-грунтовых вод Белоруссии проведены Дубиковским Г. П. (1975). Им установлено, что концентрация марганца в данных водах колеблется в пределах от 54,9 до 124,6 $\gamma/\text{л}$, меди — от 9 до 14,2 $\gamma/\text{л}$, кобальта — от 0,24 до 0,6 $\gamma/\text{л}$, бора — от 3,3 до 5,2 $\gamma/\text{л}$, молибдена — от 0,9 до 1,6 $\gamma/\text{л}$.

Изучение почвенно-грунтовых вод Калининградской области показало значительную пестроту в содержании в них микроэлементов (табл. 17). Так, в среднем концентрация бора в водах изменяется от 0,92 до 3,8 $\gamma/\text{л}$, меди — от 5,2 до 19,1 $\gamma/\text{л}$, марганца — от 47 до 407 $\gamma/\text{л}$, молибдена — от 0,25 до 0,83 $\gamma/\text{л}$, кобальта — от 0,39 до 1,7 $\gamma/\text{л}$. Характерной особенностью является высокая вариация содержания отдельных микроэлементов, которая изменяется от 27—51% (Мо) до 43—80% (В, Cu, Zn). Высокое варьирование концентрации микроэлементов в почвенно-грунтовых водах отдельных зон области связано с региональным характером распространения различных типов почв и неоднородностью почвообразующих пород.

Концентрация микроэлементов в почвенно-грунтовых водах зависит от режима их поступления из почв и пород. Однако на условия их миграции существенное влияние оказывает воднорастворимое органическое вещество, образующее комплексные и внутри-комплексные легкоподвижные соединения с марганцем, медью, цинком и другими микроэлементами. Несомненно, это является одной из главных причин столь аномально высокого содержания

Таблица 17

**Содержание микроэлементов в почвенно-грунтовых водах
Калининградской области, γ/л**

Районы	В		Cu		Mn		Mo		Cq		Zn	
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
<i>Северная зона области</i>												
Славский, п=60	1,03±0,14	62	11,7±1,65	64	352±45	56	0,25±0,02	40	0,55±0,06	53	40±6,0	65
Полесский, п=39	1,53±0,15	46	6,8±0,84	50	407±36	45	0,29±0,02	27	1,70±0,19	53	93±10,9	54
Зеленоградский, п=33	0,88±0,10	49	4,3±0,56	51	453±47	48	0,20±0,01	31	1,63±0,21	55	88±12,0	60
<i>Восточная зона области</i>												
Краснознаменский, п=74	3,8±0,26	59	15,4±1,09	61	50±3,5	60	0,71±0,03	32	0,74±0,04	49	112±7,2	55
Неманский, п=58	3,1±0,29	71	19,1±2,0	80	88±5,4	47	0,83±0,06	51	0,66±0,05	62	147±13,7	71
<i>Западная зона области</i>												
Багратионовский, п=81	0,92±0,04	43	5,2±0,32	55	47±2,0	39	0,55±0,05	30	0,39±0,02	37	70±3,8	49

марганца и относительно большой концентрации меди и цинка в почвенно-грунтовых водах северной зоны области.

Отличительной особенностью является более высокая концентрация микроэлементов в почвенно-грунтовых водах восточной зоны области по сравнению с западной и северной, что связано со значительным распространением здесь дерново-подзолистых почв тяжелого и среднего гранулометрического состава, сформировавшихся на средних и тяжелых суглинках карбонатной морены.

По величине среднего содержания в почвенно-грунтовых водах микроэлементы образуют следующий убывающий ряд: $Mn > Zn > Cu > B > Co > Mo$, который сходен с рядом микроэлементов в почвообразующих породах.

Разнообразие в содержании микроэлементов в почвообразующих породах и почвенно-грунтовых водах Калининградской области отражает в значительной степени ландшафто-геохимическую обстановку отдельных зон, условия почвообразования и формирования почвенно-грунтовых вод.

2.4. Закономерности распределения микроэлементов в гумусовом горизонте почв

Почва является важнейшим звеном природного ландшафта и биосферы в целом. Изучение закономерностей распределения микроэлементов в почвах позволяет установить значение почвенного покрова в геохимической истории элементов и выявить взаимосвязи между их содержанием и почвенным плодородием. Эти материалы служат основой при разработке научно обоснованной системы мероприятий по регулированию круговорота микроэлементов в системе биогеохимических пищевых цепей путем рационального применения микроудобрений и нормирования наиболее благоприятного сочетания недостающих химических элементов для растений, животных и человека.

Изучением содержания микроэлементов в почвах (Виноградов А. П., 1957; 1978; Небольсин А. Н., 1969; Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Багинская Б. П., 1971; Дубиковский Г. П., 1975; Ковда В. А., Зырин Н. Г., 1973; Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1973; Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1974; Важенин И. Г., 1976; Анспок П. И., 1978 и др.). Установлено, что микроэлементы в почвах могут находиться в составе кристаллических решеток первичных и вторичных минералов — в труднодоступной для растений форме, в соединении с органическим веществом почвы — в доступной для растений форме после минерализации органического вещества, в поглощенном (сорбиро-

ванном) состоянии на поверхности коллоидных частиц и в составе истинных растворов в воднорастворимой, т. е. доступной, форме. Микроэлементы образуют комплексные соединения с гуминовыми кислотами. Гуминовые кислоты торфяных почв сильно удерживают медь, марганец, молибден, цинк и кобальт и делают их малодоступными для растений. Некоторыми исследованиями показано, что в минеральных почвах 20—37% меди и 4,4% цинка связано с органическим веществом и 70—86,4% данных элементов находится в составе первичных и вторичных минералов, а также оклюдировано окислами железа. Медь в почвах поглощается в форме сложных гидро-аква-комплексных ионов. Почвы, богатые органическим веществом, связывают этот элемент хемосорбционно, причем около 70% его соединено с фракцией фульвокислот. Кобальт в значительной степени поглощается в почве в легкоподвижной ионообменной форме и удерживается в виде соединений с гуминовыми кислотами и веществами твердой органико-минеральной части почвы (Канунникова Н. А., 1971).

Растения могут поглощать из почвы воднорастворимые, растворимые в слабых кислотах и обменносорбированные формы микроэлементов. Однако содержание их невелико. По данным ряда исследователей (Небольсин А. Н., 1977; Зырин Н. Г., Зборищук Ю. Н., 1976; Крупский М. К., и др., 1978; Степанова М. Д., 1974), количество доступного растениям бора в разных типах почв составляет 0,1—4,7%, меди — 2,4—40%, марганца — 3—39%, молибдена — 4—20%, кобальта — 3—45%, цинка — 0,2—6%. При этом установлено, что подвижность микроэлементов определяется типом почвы, количеством органического вещества, кислотностью и другими факторами. Так, отмечено, что в торфяных и высокогумусированных почвах бор, марганец, цинк и кобальт более подвижны, чем в минеральных.

Имеющиеся в литературе сведения о содержании микроэлементов в почвах разных регионов страны свидетельствуют о значительных колебаниях как валового их количества, так и подвижных форм. В почвах Северо-Западного региона и ряда прилегающих областей содержание валовой меди колеблется в пределах от 1 до 98,3 мг/кг, подвижной — от 0,3 до 21,8 мг/кг, бора — соответственно от 1 до 67 мг/кг и от 0,02 до 1,8 мг/кг, марганца — от 20 до 3200 мг/кг и от следов до 363 мг/кг, молибдена — от 0,34 до 3,2 мг/кг и от 0,01 до 1,92 мг/кг, кобальта — от 2,5 до 71 мг/кг и от следов до 3,5 мг/кг, цинка — от 6,5 до 125 мг/кг и от 0,07 до 4,8 мг/кг. В пойменных аллювиальных и торфяных почвах наблюдается, как правило, более высокое содержание меди, бора, валового марганца и подвижного кобальта, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами.

По сведениям зарубежных авторов в почвах Польши, Германии, Швеции и ряда других европейских стран содержание валовой меди составляет 6,63—94,8 мг/кг, подвижной — 1,7—11 мг/кг, бора — соответственно 19—124 мг/кг и 0,04—4,67 мг/кг, марганца — 30—1050 и 114—202 мг/кг, молибдена — 0,2—4 и 0,03—0,69 мг/кг, цинка — 18,4 и 0,13—59 мг/кг и валового кобальта 3,23 мг/кг. Приведенные данные свидетельствуют о более высоких показателях в содержании подвижного цинка и валового бора в почвах некоторых европейских стран по сравнению с почвами Северо-Западной зоны РФ.

Имеющиеся в литературе многочисленные данные о содержании микроэлементов в почвах РФ, Белоруссии, Польши и Прибалтики обобщены и представлены в таблице 18. Эти данные свидетельствуют о значительной вариации в содержании микроэлементов в почвах отдельных регионов и областей, что, несомненно, связано с разнообразием условий почвообразования, неодинаковостью почв по геоморфологическим признакам, составу почвообразующих пород, агрохимическим свойствам и др.

Вместе с тем имеют место специфические закономерности распределения микроэлементов в почвах. Так, почвы Белоруссии и Прибалтики характеризуются более низким содержанием как валового количества, так и подвижных форм микроэлементов по сравнению с почвами Нечерноземной зоны РФ. Содержание некоторых микроэлементов в почвах Польши соизмеримо с их количеством в почвах Белоруссии и стран Прибалтики.

Сведения о фактическом содержании микроэлементов в почвах позволяют дать оценку степени обеспеченности последних необходимым количеством элементов для нормального роста и развития растений. Приводимые в литературе данные об обеспеченности разных типов почв микроэлементами противоречивы. По данным Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970), почвы таежно-лесной Нечерноземной зоны, Литвы, северной части Эстонии и Латвии недостаточно обеспечены медью, кобальтом, бором, молибденом и валовым цинком. По количеству марганца они являются недостаточно или среднеобеспеченными. Повышенное содержание подвижного цинка в этих почвах авторы связывают с его значительной подвижностью в условиях реакции среды.

Другие авторы отмечают недостаточную обеспеченность дерново-подзолистых почв медью, марганцем, цинком, молибденом и кобальтом (Антонова Г. Г. и др., 1972) или среднюю и низкую обеспеченность медью дерново-подзолистых почв Псковской области (Зубахов Р. А., 1972), а также высокую обеспеченность бором и марганцем дерново-подзолистых глееватых почв (Ветчигина Е. М., 1973).

Содержание микроэлементов в почвах России, Белоруссии, Прибалтики и Польши

Форма	В	Cu	Mn	Mo	Co	Zn	Литература
<i>Российская Федерация</i>							
Вал.	след-200 10-52	след-980 16-24	5-7000 652-860	след-5,6 1,8-2,2	след-45 5,9-10	2-254 3,8-63	Виноградов А. П., 1957; Ковда В. А., Зырин Н. Г., 1973; Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Пей- ве Я. В., 1958
Подв.	след-69 0,43-1,7	след-30 2,1-7,3	0,2-172	след-2,5 0,1-0,74	след-21 0,75-3	след-26 1,1-3	
<i>Белоруссия</i>							
Вал.	1,3-38 7,5	след-70 13,5	5-3680 550	0,2-4,8 3,5	след-13 3,5	2-48 11	Дубиковский Г. П., 1976, 1977; Лупиневич И. С., 1970, 1973; Свириновский Л. Я. и др., 1971
Подв.	0,03-1,8 0,32	0,04-13 1,6	290-363	след-0,38 0,1	0,01-2 0,5	0,2-20 0,7	
<i>Прибалтика</i>							
Вал.	0,6-35 9,1-11,3	0,2-28,8 4,5-12,5	20-550 580-1490	0,4-3,3 0,6	след-6,8 3,0	25-56 38	Анслон П. И., Пакалн Г. Ж., 1965; Батинскас Б. П., 1965, 1971; Бамберг К. К., 1975; Бериня Д. Ж., 1963
Подв.	след-6 0,17-0,7	след-10,9 2,2-2,5	30-200	0,01-1,9 0,12	0,04-3,5 0,6-0,8	след-26 0,6-1,2	
<i>Польша</i>							
Вал.	-	6,6-94,8	32,5-1050	0,2-4	3,23	18,4	Czarnowska K., 1977, Gruba R., 1976, Adamus M., Kozłowska H., 1976
Подв.	0,04-1,21	1,7-11	114-202	0,03-0,69	-	-	

Примечание: в числителе приведены пределы колебаний микроэлементов, в знаменателе — среднее содержание (мг/кг).

Многие авторы отмечают высокую аккумуляцию бора, меди, цинка и марганца в пойменных почвах (Лупинович И. С., 1970, 1973; Дубиковский Г. П., Алисеевич М. К., 1975). В то же время Джурко М. С. (1970), наоборот, показал, что пойменные почвы бедны микроэлементами.

Противоречивы литературные данные и об обеспеченности микроэлементами органогенных почв. Так, Дубиковский Г. П., Алисеевич М. К. (1975); Белицына Г. Д. (1981) установили достаточную обеспеченность торфяно-болотных и органогенных пойменных почв бором, марганцем, кобальтом и некоторыми другими элементами. Антонова Г. Г. и др. (1972) показали, что торфяно-болотные почвы Эстонии богаты и среднеобеспечены подвижными формами бора, молибдена, марганца, меди и цинка.

Однако большинство исследователей (Алисеевич М. К., 1984; Лупинович И. С., 1973 и др.) указывает на низкую обеспеченность торфяных почв как валовыми, так и подвижными формами микроэлементов.

Разные авторы приводят граничные числа содержания микроэлементов в почвах, ниже которых наблюдается их дефицит для растений. Так, по данным Власюка П. А. (1975), граничными числами содержания подвижных форм марганца является 40 мг/кг почвы, цинка и бора — 0,3 мг/кг, молибдена — 0,2 мг/кг, кобальта — 2,5 мг/кг, меди при pH 7,0—10 мг/кг, а при pH 5,0—7 мг/кг. По сведениям Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970), нижняя пороговая граница содержания микроэлементов в почвах составляет для меди 6—15 мг/кг, кобальта — 2—7 мг/кг, цинка — до 30 мг/кг, марганца до 400 мг/кг, молибдена до 1,5 мг/кг, бора — 3—6 мг/кг.

Для количественной оценки обеспеченности почв микроэлементами в литературе разными авторами приводятся градации. Так, для почв Прибалтики разработаны градации по обеспеченности подвижными формами микроэлементов Пейве Я. В. и Ринькисом Г. Я. (1965), (табл. 19).

Представленные градации во многом сочетаются с граничными числами содержания подвижных форм микроэлементов (Власюк П. А., 1975) и отличаются более высокими пороговыми значениями цинка и более низкими — меди.

Градации по обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов с учетом разного уровня их содержания в минеральных и органических разновидностях были предложены Дубиковским Г. П. (1975) для почв Белоруссии (табл. 20). Эти градации разработаны на основании обобщения собственного экспериментального материала и литературных данных (Важенин И. Г., 1974; Анспок П. И., 1975 и др.).

Таблица 19

**Градации по обеспеченности почв подвижными формами
микроэлементов (по Пейве Я. В., Ринькису Г. Я., 1965)**

Содержание микроэлементов, мг/кг						
Обеспеченность	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Низкая	0,2	1,5	10,0	0,15	1,0	1,0
Средняя	0,21—0,50	1,6—3,0	10,1—50,0	0,16—0,25	1,1—3,0	1,1—3,0
Высокая	0,51—1,0	3,1—7,0	50,1—100	0,26—0,50	3,1—5,0	3,1—5,0
Очень высокая	1,0	7,0	100	0,50	5,0	5,0

Наиболее подробные градации с учетом растений с разной способностью к выносу микроэлементов представлены Важениным И. Г. (1976) на основе обобщения литературного материала (Ринькис Г. Я., 1965; Лупинович И. С. и др., 1970; Пейве Я. В., 1980), (табл. 21).

Таблица 20

**Градации по обеспеченности почв Белоруссии подвижными
формами микроэлементов (по Дубиковскому Г. П., 1975)**

Содержание микроэлементов, мг/кг						
Обеспеченность	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Минеральные почвы</i>						
Низкая	<0,2	<2	<20	<0,1	<1	<1
Средняя	0,21—0,6	2,1—3,5	20,1—50	0,11—0,3	1—3	1—3
Высокая	>0,6	>3,5	>50	>0,3	>3	>3
<i>Торфяно-болотные почвы</i>						
Низкая	<0,4	<5	<40	<0,2	<2	<2
Средняя	0,41—1,0	5—7	40,1—100	0,21—0,6	2—6	2—6
Высокая	>1,0	>7	>100	>0,6	>6	>6

Приводимые разными авторами градации по обеспеченности почв микроэлементами, несмотря на кажущуюся точность и универсальность, несут в себе элементы условности и не отражают комплекс

факторов, которые приходится учитывать в практике сельскохозяйственного производства при применении микроудобрений.

Таблица 21

**Градации по обеспеченности почв микроэлементами
(по Важенину И. Г., 1976)**

Содержание микроэлементов, мг/кг						
Обеспеченность	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>I группа — растения невысокого выноса микроэлементов</i>						
Низкая	<0,1	<0,5	<15	<0,05	<0,3	<0,3
Средняя	0,1—0,3	0,5—1,5	1,5—3,0	0,05—0,15	0,3—1,0	0,3—1,5
Высокая	>0,3	>1,5	>30	>30	>1,0	>1,5
<i>II группа — растения повышенного выноса микроэлементов</i>						
Низкая	<0,3	<2,0	<45	<0,2	<1	<1,5
Средняя	0,3—0,5	2,0—4,0	45—70	0,2—0,3	1—3	1,5—3,0
Высокая	>0,5	>4,0	>70	>0,3	>3	>3
<i>III группа — растения высокого выноса микроэлементов</i>						
Низкая	<0,5	<5	<100	<0,3	<3	<3
Средняя	0,5—1,0	5—7	100—150	0,3—0,5	3—5	3—5
Высокая	>1,0	>7	>150	>0,5	>5	>5

Научные разработки по изучению распределения микроэлементов в почвах для целей рационального применения микроудобрений в сельском хозяйстве ведутся с 1968 года на Калининградской областной проектно-изыскательской станции химизации сельского хозяйства (Панасин В. И., Широков В. В. 1971, 1972, 1975; Панасин В. И., 1979). Исследования показали значительную пестроту микроэлементного состава разных типов почв области, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициентов варьирования (табл. 22).

Уровень варьирования содержания микроэлементов в разных типах почв неодинаковый; он более значительный в дерново-подзолистых почвах, по сравнению с другими типами почв. Это объясняется, по-видимому, специфическими особенностями дерново-подзолистых почв, их существенными различиями по ряду основных агрохимических признаков, среди которых важное место занимают гранулометрический состав, гумусированность, кислотность и др.

**Содержание микроэлементов в основных типах почв
Калининградской области, мг/кг**

Форма	n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>							
Вал	360	13,1±	46	211±3,6	32	0,65±0,03	72
Подв.	2218	0,37±0,01	62	2,7±0,04	76	65,2±0,8	58
						0,06	76
						0,86±0,01	62
						0,57±0,01	86
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>							
Вал	120	13,6±0,3	30	14,5±0,4	33	318±5,7	20
Подв.	757	0,59±0,02	53	5,2±0,09	45	78,4±1,1	37
						0,08	82
						0,79±0,01	47
						1,4±0,03	45
<i>Аллювиальные почвы</i>							
Вал	112	10,4±0,4	29	19,0±0,6	31	321±6,6	22
Подв.	345	0,86±0,05	47	9,1±0,28	58	67,9±1,6	41
						0,07	80
						1,3±0,03	38
						2,1±0,04	53
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>							
Вал	123	8,5±0,3	38	13,4±0,5	42	212±14,5	36
Подв.	377	0,97±0,09	46	8,0±0,24	60	60,7±1,5	46
						0,05	58
						1,3±0,03	37
						75,1±3,4	31
						1,6±0,04	43

n — количество образцов

 $\bar{x}$ — среднее содержание микроэлементов, мг/кг $S\bar{x}$ — относительная ошибка средней, мг/кг

V, % — коэффициент вариации

Характерной особенностью распределения микроэлементов в почвах области является менее значительное варьирование их валового количества по сравнению с подвижными формами. По-видимому, более или менее постоянный минералогический состав, обусловленный рыхлыми водно-ледниковыми отложениями, участвующими в почвообразовательном процессе, явился одной из главных причин относительно невысокого колебания валового содержания микроэлементов как в разных типах почв, так и в пределах данного почвенного типа.

В целом, содержание микроэлементов в почвах Калининградской области ниже, чем в почвах РФ и приближается к количеству последних в почвах Белоруссии, Прибалтики и Польши.

Одной из существенных особенностей содержания микроэлементов в почвах области является их неодинаковая подвижность (отношение подвижных форм к валовым), определяемая характером элементов, типом почвы, ее гумусированностью и другими факторами (табл. 23). Полученные нами данные во многом согласуются с литературными данными (Небольсин А. Н., 1969; Алисиевич М. К., Гецевич Н. А., 1984; Зырин Н. Г., Зборишук Ю. Н., 1976). Однако по бору, меди, марганцу приближаются к верхнему, а по кобальту и цинку — среднему пределу литературных данных.

Таблица 23

Отношение содержания подвижных форм микроэлементов к валовому их количеству в почвах, %

Почвы Элемент	Дерново- подзолистые	Дерновые глеевые и глееватые	Аллюви- альные	Торфяные	Литератур- ные данные
B	2,8	4,3	8,3	11,4	0,1—4,7
Cu	21,3	35,9	47,9	59,7	2,4—40
Mn	30,9	24,7	21,2	28,6	3—39
Mo	9,2	5,0	3,3	3,8	4—20
Co	7,0	13,9	11,0	22,0	3—45
Zn	0,97	3,1	2,5	2,1	0,2—6

Подобная особенность обусловлена высокой гумусированностью рассматриваемых почв по сравнению с их аналогами в Европейской части Российской Федерации, Белоруссии, Прибалтики.

Установлено, что с увеличением содержания органического вещества в почвах возрастает подвижность бора, меди, кобальта и цин-

ка, что и определяет аномально высокий процент подвижности форм данных элементов к валовым в аллювиальных и осушаемых торфяных почвах.

Специфические условия почвообразования на территории области, а также особенности минералогического состава почвообразующих пород обусловили характерную мозаику обеспеченности почв валовыми формами микроэлементов. В целом почвы области слабо обеспечены валовым марганцем и молибденом, слабо или достаточно обеспечены медью и кобальтом, средне- или высокообеспечены бором и цинком.

Однако для прогнозирования и последующего регулирования уровня микроэлементного питания растений важное значение имеет характеристика обеспеченности почв подвижными (доступными растениям) формами микроэлементов. Оценка данных фактического содержания подвижных форм микроэлементов в почвах области по приводимым в литературе грациям по обеспеченности ими почв Белоруссии и Прибалтики (Ринькис Г. Я., 1965; Дубиковский Г. П., 1975) показывает, что в целом рассматриваемые почвы высокообеспечены марганцем, низкообеспечены молибденом, кобальтом и цинком, среднеобеспечены бором и медью.

Дерновые глеевые и глееватые почвы отличаются от дерново-подзолистых более высокой обеспеченностью цинком. Значительное сходство по обеспеченности микроэлементами имеют аллювиальные почвы с дерновыми и отличаются от последних средней обеспеченностью кобальтом.

Массовое обследование территории сельхозугодий на содержание подвижных форм микроэлементов и оценка полученных результатов по грациям обеспеченности ими почв (Пейве Я. В., Ринькис Г. Я., 1965) позволили реально оценить обеспеченность почв области микроэлементами. В группу почв с недостаточным содержанием микроэлементов и нуждающихся в применении микроудобрений отнесены почвы с низкой и средней обеспеченностью ими. Таким образом, практически все почвы (т. е. 99,8—99,9%) имеют дефицит по молибдену, кобальту и цинку; 50,6% почв с недостаточным содержанием меди, 44,5% — бора и лишь 13,6% слабообеспечены марганцем.

В связи с тем, что содержание микроэлементов в почвах области колеблется в широких пределах, общая характеристика обеспеченности почв не позволяет дать более точную оценку нуждаемости отдельных типов почв и микроудобрениях. Для обсуждения данного вопроса проведен анализ обеспеченности основных типов почв микроэлементами (табл. 24).

**Характеристика основных типов почв
Калининградской области по обеспеченности
подвижными формами микроэлементов**

Элемент	Низкая		Средняя		Повышенная		Высокая	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>								
B	176,7	27,0	426,6	65,2	51,0	7,8	—	—
Cu	138,7	21,2	365,8	55,9	149,8	22,9	—	—
Mn	—	—	79,8	12,2	497,3	76,0	77,2	11,8
Mo	654,3	100	—	—	—	—	—	—
Co	427,3	65,3	227,0	34,7	—	—	—	—
Zn	456,7	69,8	197,6	30,2	—	—	—	—
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>								
B	—	—	14,5	58,3	10,4	41,7	—	—
Cu	—	—	6,6	26,4	15,3	61,4	3,0	12,2
Mn	—	—	—	—	18,0	72,1	6,9	27,9
Mo	22,8	91,7	2,1	8,3	—	—	—	—
Co	16,0	64,3	8,9	35,7	—	—	—	—
Zn	3,5	13,9	21,4	86,1	—	—	—	—
<i>Аллювиальные почвы</i>								
B	—	—	7,8	11,5	49,2	72,4	10,9	16,1
Cu	—	—	—	—	32,0	47,1	35,9	52,9
Mn	—	—	16,4	24,2	51,5	75,8	—	—
Mo	65,1	95,9	2,8	4,1	—	—	—	—
Co	25,7	37,9	42,2	62,1	—	—	—	—
Zn	1,4	2,1	54,5	80,2	12,0	27,7	—	—
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>								
B	—	—	0,8	2,1	24,8	61,3	14,8	36,6
Cu	—	—	—	—	16,0	39,6	24,4	60,4
Mn	—	0,1	21,2	52,4	19,2	47,5	—	—
Mo	40,4	100	—	—	—	—	—	—
Co	40,4	100	—	—	—	—	—	—
Zn	32,9	81,4	7,5	18,6	—	—	—	—

Почвы разной генетической принадлежности, различающиеся по морфологическим и агрохимическим параметрам, имеют специфи-

ческие особенности содержания и распределения микроэлементов в пахотном слое, а вместе с тем и характерные закономерности обеспеченности ими.

Так, дерново-подзолистые почвы отличаются от своих аналогов — почв Европейской части Российской Федерации, Белоруссии и Прибалтики слабо выраженными признаками подзолообразовательного процесса. Эти почвы преимущественно среднего и тяжелого гранулометрического состава с относительно высоким содержанием гумуса.

Качественный состав гумуса в дерново-подзолистых почвах области также весьма специфичен. Он отличается значительным преобладанием фульвокислот и относительно высокой подвижностью гумусовых кислот. Отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот колеблется в пределах 0,4—0,6. Высокая гидрофильность и дисперсность гумусовых кислот обуславливает склонность к образованию внутрикомплексных соединений с поливалентными катионами, в том числе и с катионами металлов — микроэлементов, способствуя их передвижению внутрь профиля на значительную глубину.

Недостаток кальция и магния в гумусовом горизонте рассматриваемых почв не обеспечивает полную нейтрализацию гумусовых кислот, чем объясняется сильное воздействие последних на минеральную часть почвы, а промывной режим способствует значительному вымыванию гумусовых соединений и усиливает процесс передвижения внутрикомплексных металлоорганических соединений по профилю.

По сравнению с дерново-подзолистыми почвами Европейской части РФ, Белоруссии и Прибалтики почвы Калининградской области характеризуются меньшим количеством как валовых, так и подвижных форм бора, молибдена, кобальта и цинка, а также соизмеримыми величинами содержания меди и марганца.

По обеспеченности подвижными формами микроэлементов данные почвы отнесены к почвам с очень низкой обеспеченностью молибденом, с недостаточной обеспеченностью бором, кобальтом и цинком, средней обеспеченностью медью и повышенной обеспеченностью марганцем. В целом практически все дерново-подзолистые почвы нуждаются в дополнительном внесении борных, молибденовых, кобальтовых и цинковых микроудобрений, около 80% почв — во внесении медных и лишь около 12% — марганцевых удобрений.

Характерным для дерновых и отличительным от дерново-подзолистых почв признаком является более высокое валовое содержание и количество подвижных форм микроэлементов. Однако данные почвы также слабо обеспечены молибденом, кобальтом и цинком. Несмотря на лучшую обеспеченность дерновых почв микроэлементами по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, значительная их часть нуж-

дается в дополнительном внесении микроудобрений: борных около 60%, медных — 25%, молибденовых, кобальтовых и цинковых — 100%. При этом следует учесть, что борные, медные, цинковые и отчасти кобальтовые удобрения на данных почвах необходимо применять в меньших дозах по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, т. к. значительный процент дерновых почв относится к группе среднеобеспеченных указанными микроэлементами.

Аллювиальные почвы отличаются от дерновых более высоким содержанием подвижных форм микроэлементов, а также количеством валового кобальта и цинка. Данные почвы характеризуются достаточной или повышенной обеспеченностью бором и медью. Около 75% этих почв обеспечены марганцем и около 18% — цинком.

Однако специфичным для данных почв является очень низкая обеспеченность молибденом, низкая или средняя обеспеченность кобальтом и цинком. В целом около 25% рассматриваемых почв нуждаются в дополнительном внесении марганцевых, около 80% — цинковых и 100% — молибденовых и кобальтовых микроудобрений. Учитывая, что в аллювиальных почвах значительный удельный вес занимают почвы со средней обеспеченностью марганцем, кобальтом и цинком, применение данных микроудобрений следует рекомендовать в небольших дозах.

По валовому содержанию микроэлементов осушаемые торфяные почвы занимают промежуточное положение между дерново-подзолистыми и дерновыми или аллювиальными почвами, а по количеству подвижных форм микроэлементов приближаются к последним. Это свидетельствует о высокой подвижности большинства микроэлементов в осушаемых торфяных почвах.

По обеспеченности подвижными формами микроэлементов осушаемые торфяные почвы характеризуются как почвы с достаточной обеспеченностью бором и медью, очень низкой обеспеченностью молибденом, кобальтом и цинком и в равной степени средней или повышенной обеспеченностью марганцем.

Природа поступления и аккумуляции микроэлементов в пахотном слое разных типов почв области различна. В дерново-подзолистых почвах с характерным для них низким уровнем почвенно-грунтовых вод главным фактором, определяющим уровень содержания микроэлементов в гумусовом горизонте, является их биогенная аккумуляция, интенсивность которой зависит от многих признаков, главными из которых являются активность почвенной микрофлоры и скорость разложения органических веществ, гранулометрический состав, количество гумуса, кислотность и другие.

В дерновых почвах, где уровень почвенно-грунтовых вод находится на глубине более метра, так же как и в дерново-подзолистых

почвах, превалирует биогенная аккумуляция микроэлементов, которая более ярко выражена под густой луготравянистой растительностью. Аккумуляция усиливается за счет обогащения почв гумусом, это является одной из главных причин более высокого содержания микроэлементов в дерновых почвах по сравнению с дерново-подзолистыми.

Микроэлементы могут поступать в пахотный слой с почвенно-грунтовыми водами при их высоком уровне. Пополнение микроэлементного состава верхних горизонтов за счет гидрогенной аккумуляции имеет место в аллювиальных и осушаемых торфяных почвах, где почвенно-грунтовые воды находятся на глубине 0,4—0,8 м, а в отдельные периоды поднимаются к поверхности, подтопляя пахотный слой.

В зависимости от степени гидрогенной аккумуляции и уровня грунтовых вод возможен самый разнообразный характер распределения микроэлементов: совпадение биогенного и гидрогенного распределения, преобладание той или иной формы аккумуляции на разных глубинах в почве. В горизонте испарения капиллярных токов от грунтовых вод происходит выпадение микроэлементов и их абсолютное или относительное накопление.

В почвах, подвергающихся периодическому затоплению паводковыми водами, имеет место механическая аккумуляция микроэлементов, которая накладывается на биогенную, увеличивая их концентрацию в пахотном слое. Особенно это относится к микроэлементам сравнительно подвижным, легко мигрирующим, таким как марганец, медь и кобальт.

Таким образом, аллювиальным и осушаемым торфяным почвам, в отличие от дерново-подзолистых и дерновых почв, характерны различные виды аккумуляции микроэлементов в пахотном слое (биогенная, гидрогенная, механическая). В отдельные периоды может превалировать тот или иной вид аккумуляции, но все они ведут к обогащению пахотного слоя микроэлементами. Аномально низкое содержание марганца в аллювиальных и осушаемых торфяных почвах, по-видимому, связано с сильной распаханностью данных почв и интенсивным их сельскохозяйственным использованием, т. к. данные почвы характеризуются высоким потенциальным плодородием.

Рассмотренные закономерности концентрации и распределения микроэлементов в пахотном горизонте и обеспеченность ими разных типов почв Калининградской области специфичны. Они определяются особенностями агроклиматических условий формирования и развития почв, спецификой окислительно-восстановительных процессов, типом гидрологического режима, производственной деятельностью человека и другими.

3. Зависимость содержания микроэлементов от свойств почв и пород

Почвоведение располагает значительными данными о закономерностях поведения микроэлементов в почвах. Установлено, что содержание и распределение микроэлементов зависит от многих химических, физических и физико-химических свойств почв, основными из которых являются гранулометрический состав, содержание и качество гумуса, реакция среды. Однако найти количественные зависимости между отдельными показателями, характеризующими свойства почв, и содержанием микроэлементов очень трудно, т. к. почва представляет собой сложную гетерогенную систему. При анализе экспериментальных данных приходится каждый фактор почвенной среды рассматривать в отдельности, хотя одним показателем, взятым изолированно, нельзя характеризовать общие закономерности содержания и распределения микроэлементов в почвах в целом. Вместе с тем изучение любого сложного явления невозможно без расчленения на более простые составляющие.

Изучению влияния свойств почв и пород на содержание микроэлементов в пахотном слое посвящен ряд работ отечественных и зарубежных ученых. Многими исследователями (Небольсин А. Н., 1977; Лупинович И. С., 1970; Бутузова О. В., Сергеева Ж. В., 1971; Свирновский Л. Я. и др., 1971; Руднева Е. Н. и др., 1972; Крупский М. К. и др., 1978; Тойка М. А. и др., 1980; Перевозчикова Е. М., 1983) установлено, что в накоплении микроэлементов в почвах первенствующая роль принадлежит почвообразующим породам. Материал, образующийся в результате разрушения и выветривания материнских пород, закономерно отражает их состав в отношении содержания и сочетания микроэлементов. Почвы, как правило, наследуют геохимические черты своих материнских пород, но на содержание и распределение в них микроэлементов накладывается влияние почвообразовательного процесса.

Содержание как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в почвах определяется их концентрацией в почвообразующих породах. При этом между количеством микроэлементов в почвах и породах найдена корреляционная связь разного уровня и формы (Бутузова О. В., Сергеева Ж. В., 1971; Петербургский А. В., 1972; Свирновский Л. Я. и др., 1971; Руднева Е. Н. и др., 1972; Лупинович И. С., 1973; Дубиковский Г. П., 1975; Крупский М. К. и др., 1977, Тойка М. А., 1980; Перевозчикова Е. М., 1983).

Тесная положительная корреляция между содержанием микроэлементов в почвах и породах отмечена в работах Тойки М. А. (1980), Дубиковского Г. П. (1975). Хорошая корреляционная зависи-

мость найдена между содержанием меди, цинка и марганца в дерново-подзолистых почвах и подстилающих их породах в работах Адерикина П. Г. (1980), Ильина В. Б. (1982), Шакури Б. К. (1976), где показано, что коэффициент корреляции между содержанием меди в почвах и породах колебался в пределах от 0,62 до 0,75, а марганца и цинка — составлял соответственно 0,78 и 0,58.

Обработка фактического экспериментального материала показала значительное разнообразие форм и степени тесноты корреляционной связи между содержанием микроэлементов в разных типах почв и подстилающих породах области (табл. 25).

Высокая положительная корреляция наблюдается между содержанием микроэлементов в дерново-подзолистых и подстилающих породах, что, по-видимому, связано с участием почвообразующих пород в развитии и формировании данных почв, а также с особенностями их минералогического состава и генезиса. Слабая и в ряде случаев малодостоверная корреляционная зависимость проявляется между содержанием микроэлементов в дерновых почвах на моренных карбонатных суглинках. Вторичная насыщенность почв и высокое содержание карбонатов приводят к снижению подвижности микроэлементов.

С другой стороны, развитие дернового процессе приводит к обогащению пахотного слоя гумусом, участвующим в его закреплении. В таких почвах наблюдается, как правило, повышенное содержание микроэлементов как в почвах, так и в породах.

На содержание и распределение микроэлементов в аллювиальных и осушаемых торфяных почвах существенное влияние оказывают аллювиальные наносы, а также особенности гидрологического режима, заключающиеся в периодическом временном или постоянном избыточном увлажнении и в высоком уровне стояния почвенно-грунтовых вод. По-видимому, эти специфические условия развития рассматриваемых почв затушевывают степень участия почвообразующих пород в их формировании.

Влияние почвообразующих пород, в частности их гранулометрического состава, находит свое проявление при расчете корреляции между содержанием частиц физической глины и микроэлементов в почвах. При этом почвы, сформировавшиеся на породах тяжелого гранулометрического состава, содержат, как правило, больше микроэлементов, чем почвы на легких породах. Так, в работе Ильина В. Б. (1971) отмечено, что почвы на суглинках и глинах содержат в 1,5—2 раза больше молибдена, чем на легких породах. Лупинович И. С. (1973) показал, что в почвах на суглинках содержалось в 2—4 раза больше марганца и кобальта и в 13 раз больше меди, чем в почвах на песках и супесях.

Корреляционная зависимость (г) между содержанием микроэлементов в почвах и почвообразующих породах

Почвы и почвообразующие породы	n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые</i>							
На водно-ледниковых безвалунных глинах	80	0,52	0,48	0,41	0,18	0,33	0,43
На моренных валунных суглинках	147	0,44	0,33	0,36	0,21	0,27	0,32
На моренных валунных супесях и песках	133	0,31	0,24	0,30	0,17	0,21	0,27
Общая совокупность	360	0,82±0,04	0,78±0,03	0,61±0,03	0,28±0,02	0,53±0,03	0,63±0,04
<i>Дерновые глеевые и глееватые</i>							
На моренных карбонатных суглинках	120	0,17±0,01	0,31±0,02	0,27±0,01	0,10±0,01	0,44-0,02	0,17±0,01
<i>Аллювиальные</i>							
На древнеаллювиальных песках и супесях	31	0,35	0,17	0,26	0,18	0,41	0,19
На безвалунных суглинках	27	0,29	0,19	0,21	0,13	0,39	0,24
Подстилаемые торфом	54	0,13	0,07	0,14	0,10	0,17	0,09
Общая совокупность	112	0,55±0,02	0,29±0,01	0,41±0,03	0,38±0,01	0,61-0,04	0,34±0,02
<i>Осушаемые торфяные</i>							
На ледниковых иловатых глинах	32	0,34	0,46	0,23	0,19	0,32	0,14
На водно-ледниковых безвалунных суглинках	41	0,43	0,32	0,32	0,17	0,36	0,26
На древнеаллювиальных сортированных песках	50	0,52	0,49	0,45	0,10	0,50	0,41
Общая совокупность	123	0,72±0,04	0,69±0,03	0,55±0,02	0,29±0,01	0,70±0,04	0,61±0,03

Одним из важнейших параметров свойств почв является гранулометрический состав минеральных и зольность органогенных почв. Многими исследователями установлено, что большинство микроэлементов концентрируется в илистой фракции почв, т. к. мелкодисперсные частицы обладают более высокой адсорбционной способностью, чем грубодисперсные (Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Вардья Н. П., и др., 1976). Однако у различных авторов по вопросам влияния количества физической глины на содержание микроэлементов в почвах нет единого мнения.

Некоторые авторы (Белицина Г. Д., Журавлева Е. Г., 1974; Тойка М. А., 1980) отмечают более высокое содержание микроэлементов в почвах тяжелого гранулометрического состава по сравнению с песчаными и супесчаными почвами. Дубиковским Г. П. (1975) также установлена тесная прямая корреляционная связь между содержанием физической глины и количеством валовых форм микроэлементов. Менее тесная зависимость наблюдалась между физической глиной и подвижными формами микроэлементов.

О высокой положительной корреляции между содержанием физической глины и количеством как валовых, так и подвижных форм микроэлементов свидетельствуют работы Дубиковского Г. П., Алисевич М. К. (1975), Швидка Г. Д. (1976). Хорошая зависимость между содержанием кобальта, бора и молибдена в дерново-подзолистых почвах и их гранулометрическим составом показана в работе Ковда В. А., Зырина Н. Г., 1973.

В работах Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970); Ильина В. Б. (1982) имеются сведения о сильной положительной корреляционной связи между содержанием молибдена в почвах и их гранулометрическим составом, причем отмечено, что этот элемент концентрируется в основном в илистой фракции почв. Хорошая зависимость между содержанием молибдена в заболоченных почвах и количеством в них физической глины отмечена в работе Свирновского Л. Я. (1973). По данным польских авторов, коэффициент корреляции между количеством молибдена в почвах и их гранулометрическим составом варьирует от 0,66 до 0,86.

Противоречивы литературные сведения о корреляционной связи между содержанием меди и количеством физической глины в почвах. Некоторые авторы (Вардья Н. П. и др., 1976; Даутов Р. К. и др., 1979) отмечают тесную корреляцию между содержанием меди и гранулометрическим составом почв, при этом указывают, что данный элемент закрепляется в почве тем прочнее, чем тяжелее ее гранулометрический состав. Тесную корреляцию между количеством валовой меди и содержанием частиц физической глины в дерново-подзолистых почвах установил Дубиковский Г. П. (1975), одновременно отмечая более

слабую зависимость содержания подвижной меди от гранулометрического состава этих почв.

Плотная корреляция между физической глиной и содержанием меди в почвах установлена в работах ряда польских исследователей, причем коэффициент корреляции данной связи составил 0,83, а уравнение регрессии имело вид $y=0,43x-0,03$. Несколько более низкая величина коэффициента корреляции (0,67) получена по почвам северной части бывшей ГДР.

В работе Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970) приводятся данные о корреляционной связи между содержанием цинка в почвах и их гранулометрическим составом, а также о том, что данный микроэлемент поглощается коллоидной фракцией почв и хорошо в ней удерживается.

Работами Шаровой А. С. и др. (1970), Ильина В. Б. (1973) показано, что бор концентрируется в илистой фракции почв. О корреляционной связи содержания подвижного бора в пойменных аллювиальных и дерновых почвах с их гранулометрическим составом приводятся сведения в работах Катамыова М. В. (1965), Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970), которые установили обратную связь между содержанием бора и количеством илистых частиц в почвах.

Имеются разногласия разных исследований и по вопросу корреляционной зависимости между содержанием марганца и гранулометрическим составом почв. О положительной корреляции между данными ингредиентами в дерново-подзолистых почвах свидетельствуют работы Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970), а в заболоченных почвах — работы Свириновского Л. Я. (1973), Гецевич Н. А. (1974), показали, что коэффициент корреляции между содержанием марганца и физической глины в почвах равен 0,72. В работе Дворниковой Л. Л. (1974) приводятся данные об отсутствии строгой зависимости содержания подвижного марганца в почвах Ленинградской области от содержания физической глины.

Некоторыми авторами (Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970) установлено, что содержание кобальта в почвах коррелирует с количеством физической глины, причем коэффициент данной корреляции равен 0,41. Лупинович И. С. (1970) показал, что при изменении содержания физической глины на 1% количество кобальта изменяется на 0,2—0,21 мг/кг почвы.

Обзор работ, относящихся к минералогическому составу почв и почвообразующих пород, показывает, что илистая фракция характеризуется весьма сходным качественным составом (Тихонов С. А., Сергиенко В. Т., 1974; Лукашов К. И., 1970). Характерными минералами ила дерново-подзолистых почв являются гидрослюды, вермикулит, хлорид и минералы монтмориллонитовой группы в различных соотно-

шениях, несиликатные аморфные полутораоксиды. Однако количественные соотношения их в почвах, развивающихся на разных по гранулометрическому составу породах, меняются. Как показали исследования Важенина И. Г., Беяковой В. И. (1976), Завалишина А. А., Надеждина Б. В. (1961), неодинаковое количественное соотношение минералов имеют место в почвообразующих породах на территории Калининградской области.

Определяющим фактором свойств почвенного поглощающего комплекса и содержания химических элементов является количественное содержание тонкодисперсных (глинистых) фракций, в которых концентрируется значительная часть микроэлементов (Зырин Н. Г. и др., 1976, 1980; Журавлева Е. Г., 1974).

В содержании и распределении микроэлементов в почвах Калининградской области отчетливо проявляется влияние минералогического, химического и гранулометрического состава почв, а также их генетических особенностей. Отмечается тесная корреляционная зависимость между валовым содержанием микроэлементов и количеством частиц физической глины в дерново-подзолистых почвах (табл. 26).

Таблица 26

**Корреляционная зависимость (г)
между содержанием частиц физической глины и валовым
количеством микроэлементов в почвах (гор. Ал.)**

n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
360	0,59±0,02	0,65±0,04	0,68±0,04	0,51±0,03	0,53±0,02	0,61±0,04
<i>Дерновые почвы</i>						
120	0,69±0,08	0,83±0,09	0,58±0,08	0,50±0,08	0,72±0,09	0,82±0,09
<i>Аллювиальные почвы</i>						
112	0,53±0,06	0,66±0,06	0,43±0,05	0,38±0,06	0,55±0,10	0,68±0,09

Величина коэффициентов корреляции для общей совокупности рассматриваемых почв достоверна и изменяется в дерново-подзолистых почвах от 0,51 до 0,68, в дерновых — от 0,50 до 0,88, в аллювиальных — от 0,38 до 0,68.

Расчеты корреляционных связей выполнены на основе наиболее типичных разновидностей дерново-подзолистых, дерновых и аллювиальных почв, развивающихся на разных по гранулометрическому составу породах — песках, моренных безвалунных супесях, моренных

валунных и карбонатных суглинках, водно-ледниковых безвалунных глинах и погребенном торфе. Данные таблицы 25 показывают, что не во всех разновидностях почв проявляется достоверная корреляционная зависимость между содержанием микроэлементов и частиц физической глины. Здесь важное значение имеет размах варьирования переменных величин. В ряде случаев они варьируют в столь узком интервале, сравнимом с ошибкой изменения, что нельзя установить связь между ними. Незначительные изменения в содержании частиц физической глины (меньше 10%) в отдельных разновидностях почв существенно не сказываются на изменении микроэлементного состава, хотя в целом для общей совокупности минеральных разновидностей почв области существует положительная корреляция между содержанием частиц физической глины и количеством микроэлементов.

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах разного гранулометрического состава варьирует в более широких пределах по сравнению с валовым количеством, что связано с более сильным влиянием физических и агрохимических свойств почв на подвижность микроэлементов. При этом коэффициент вариации разных микроэлементов в отдельных почвенных разновидностях изменяется в пределах от 11 до 61% (табл. 27).

Общей закономерностью является увеличение количества микроэлементов при переходе от почв легкого гранулометрического состава к более тяжелым. Так, при переходе от песчаных почв к средне- и тяжелосуглинистым содержание подвижных форм микроэлементов увеличивается в 1,2—3,5 раза, причем более значительно изменяется количество меди, кобальта и цинка, меньше — бора и молибдена. Подобная закономерность отмечена в работах Багинскаса Б. П. (1969), Дубиковского Г. П. (1975, 1983), Пейве Я. В. (1980) и др.

Высокое содержание глинных материалов в составе тонкой илистой фракции почв обуславливает ее большую поглощательную способность. Эти минералы дают высокодисперсные коллоидные частицы, имеющие потенциал отрицательного знака и способные к катионному обмену. Такие частицы обладают большей энергией поглощения различных катионов, в том числе и микроэлементов, благодаря чему химические элементы защищены от выщелачивания и остаются в почве в поглощенной, но относительно доступной растениям форме. Это является одной из причин относительно высокого содержания ряда микроэлементов в пахотном слое почв. Так как почвы являются системой частиц, несущих в основном отрицательный заряд, то микроэлементы, присутствующие в почве в анионной форме (бор, молибден), меньше поглощаются почвенным комплексом.

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах разного механического состава, мг/кг

Гранулометри- ческий состав	n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
Дерново-подзолистые почвы							
Песчаные	312	0,19±0,01	1,8±0,04	53±0,9	0,06	0,61±0,01	0,40±0,01
Супесчаные	595	0,31±0,01	2,3±0,04	60±0,6	0,06	0,76±0,01	0,53±0,01
Легкосугл.	682	0,38±0,01	2,8±0,05	67±0,7	0,06	0,88±0,01	0,59±0,01
Среднесугл.	348	0,50±0,02	3,1±0,08	71±1,8	0,05	1,00±0,03	0,66±0,02
Тяжелосугл.	281	0,58±0,03	3,4±0,08	76±1,4	0,05	1,11±0,04	0,71±0,02
Дерновые почвы							
Песчаные	51	0,45±0,01	2,9±0,23	43±3,1	0,04	0,38±0,02	0,71±0,04
Супесчаные	149	0,54±0,02	3,5±0,10	75±2,1	0,05	0,59±0,02	1,10±0,03
Легкосугл.	377	0,58±0,01	5,2±0,11	79±1,5	0,05	0,79±0,02	1,45±0,02
Среднесугл.	180	0,67±0,02	7,2±0,16	93±2,3	0,05	0,96±0,03	1,91±0,04
Аллювиальные почвы							
Песчаные	17	0,55±0,01	4,0±0,66	39±3,9	0,05	0,42±0,04	0,88±0,12
Супесчаные	49	0,74±0,04	8,5±0,26	55±2,0	0,05	1,20±0,07	1,80±0,10
Легкосугл.	190	0,88±0,03	9,2±0,15	66±1,6	0,04	1,37±0,03	1,93±0,04
Среднесугл.	89	0,94±0,04	9,3±0,15	70±3,4	0,04	1,49±0,05	2,24±0,06

Корреляционная связь между содержанием подвижных форм микроэлементов и количеством частиц физической глины в почвах имеет различную степень тесноты и направление (табл. 28).

Таблица 28

**Корреляционная зависимость (г)
между содержанием частиц физической глины и валовым
количеством микроэлементов в почвах (гор. Ал.)**

n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
2218	0,42±0,02	0,52±0,02	0,31±0,02	0,37±0,02	0,58±0,02	0,36±0,02
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>						
757	0,51±0,03	0,77±0,02	0,33±0,04	0,29±0,04	0,65±0,03	0,75±0,02
<i>Аллювиальные почвы</i>						
345	0,40±0,06	0,62±0,04	0,32±0,06	0,31±0,04	0,42±0,06	0,68±0,04

В целом для общей совокупности в разных типах почв у большинства микроэлементов она положительная, но менее тесная, чем для валовых форм.

В органогенных почвах важным показателем является зольность торфа. Некоторые авторы (Чертко Н. К. и др., 1972; Вашкевич Л. Ф., Свириновский Л. Я., 1973; Алисеевич М. К. и др., 1984) установили положительную корреляцию разной степени тесноты между содержанием микроэлементов в торфяных почвах и зольностью торфа. По данным Алисеевич М. К. и др. (1984), наиболее высокое содержание бора наблюдается в торфах с зольностью 10—50%, марганца — 30—72%. В ряде работ польских авторов указывается на отсутствие зависимости содержания меди и цинка от зольности торфа.

В наших исследованиях выявлена закономерность увеличения содержания микроэлементов в осушаемых торфяных почвах с ростом зольности торфа. Так, с увеличением зольности до 30% и выше количество микроэлементов возрастало в 1,8—2,8 раза. По-видимому, это объясняется более высокой степенью минерализации высокозольных торфов и повышенным содержанием в них химических элементов, в том числе и микроэлементов. С другой стороны, как объясняют Ковальский В. В., Андрианова Г. А. (1970), Лукашов К. Т., Петухова Н. Н. (1970) и другие авторы, в высокозольных торфах микроэлементы могут входить в состав вторичных минералов и органоминеральных комплексов и закрепляться в почве.

В осушаемых торфяных почвах установлена положительная корреляция разной степени тесноты между зольностью, содержанием

подвижных и валовых форм микроэлементов (табл. 29). Для общей совокупности осушаемых торфяных почв она достоверна как для валового содержания, так и для подвижных форм микроэлементов, однако для последних она менее тесная, чем для валовых. Тесная положительная корреляционная связь наблюдается между валовым содержанием меди, цинка и кобальта и зольностью, а для валовых форм бора, марганца и молибдена связь средней силы. Такой же силы корреляция характерна для подвижных форм меди, молибдена и цинка, а для бора, марганца — слабая.

Таблица 29

**Корреляционная зависимость (г)
между зольностью торфяных почв
и содержанием микроэлементов**

n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Валовое содержание микроэлементов</i>						
123	0,58	0,73	0,51	0,55	0,71	0,82
	±0,06	±0,08	±0,04	±0,05	±0,08	±0,10
<i>Количество подвижных форм микроэлементов</i>						
377	0,33	0,59	0,33	0,53	0,44	0,63
	±0,05	±0,04	±0,05	±0,02	±0,05	±0,02

Наличие прямой связи между дисперсностью минеральных, а также зольностью органогенных почв и содержанием различных форм микроэлементов позволяет сделать вполне логическое предположение о существовании аналогичной зависимости между валовой и подвижной формой микроэлементов.

Изучению данного вопроса посвящены работы многих исследователей. Однако однозначных выводов по этому вопросу нет.

В большинстве исследований (Тонконоженко Е. В., 1969; Зырин Н. Г., Папукевич З. А., 1971, 1976; Дубиковский Г. П., 1975; Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1974) отмечается прямая зависимость между валовой и подвижной формами марганца. По данным Ильина В. Б. (1982), коэффициент данной корреляции составляет $0,42 \pm 0,063$.

Тесная прямая корреляционная связь установлена между валовым и подвижным бором в пойменных почвах (Багинская Б. П., 1969). Другие авторы (Дубиковский Г. П., 1973; Васяев Г. В., 1974) показали слабую и не всегда, в отдельных разновидностях почв, достоверную связь между разными формами бора.

Сведения о прямой корреляционной связи между валовым содержанием меди и количеством ее подвижных форм приведены в работах

ряда исследователей (Тонконоженко Е. В., 1969; Дубиковский Г. П., 1975), между формами кобальта (Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1977). Лупиневич И. С. (1970) показал, что коэффициент корреляции между валовым и подвижным кобальтом в торфяно-болотных почвах Белоруссии составляет $0,94 \pm 0,08$, при этом отмечая отсутствие подобной корреляции в минеральных почвах. На отсутствие корреляционной связи между формами кобальта в дерново-подзолистых почвах указано в работе Дубиковского Г. П. (1975).

Тойка М. А. (1980), Ильин В. Б., Степанова М. Д. (1982) установили прямую корреляционную связь средней силы между валовым содержанием молибдена и количеством его подвижных форм в почве. Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г. (1974) показали, что коэффициент корреляции данной связи изменяется в пределах от 0,51 до 0,89 в зависимости от типа почвы. Между формами цинка тесная корреляция показана в работах шведских ученых.

Однако в некоторых работах отечественных и зарубежных ученых приводятся данные об отсутствии корреляционной связи между валовыми и подвижными формами микроэлементов (Веригина К. В., 1974; Тома С. И. и др., 1980).

Характер зависимости между содержанием валовых и подвижных форм микроэлементов в почвах Калининградской области не одинаковый (табл. 30).

Таблица 30

**Корреляционная зависимость (г)
между содержанием валовых и подвижных форм
микроэлементов в почвах Калининградской области**

n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
360	0,26	0,38	0,41	0,46	0,09	0,57
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>						
120	0,36	0,47	0,28	0,34	0,41	0,52
<i>Аллювиальные почвы</i>						
112	0,51	0,58	0,32	0,41	0,64	0,56
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>						
123	$\pm 0,12$	$\pm 0,11$	$\pm 0,09$	$\pm 0,10$	$\pm 0,12$	$\pm$

В дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава между валовыми и подвижными формами микроэлементов — бора, меди, марганца, молибдена и цинка — наблюдается положительная корреляционная зависимость. Не всегда, в отдельных разновидностях

почв, проявляется достоверная зависимость между валовым и подвижным кобальтом. В целом для общей совокупности дерново-подзолистых почв характерна слабая положительная корреляция между валовыми и подвижными формами бора, меди и кобальта, а также средней или близкой к средней степени тесноты для марганца, молибдена и цинка.

В осушаемых торфяных, дерновых и аллювиальных почвах между валовым содержанием и количеством подвижных форм микроэлементов, как правило, проявляется положительная корреляционная связь разной степени тесноты. Тесная связь характерна для меди, кобальта и цинка в осушаемых торфяных почвах; средней тесноты — для бора и молибдена в осушаемых торфяных; бора, меди, кобальта и цинка — в аллювиальных, а также цинка — в дерновых почвах. Слабая связь проявляется между формами марганца в рассматриваемых почвах; молибдена — в аллювиальных; бора, меди, молибдена и кобальта — в дерновых почвах.

Гумусу принадлежит большая роль в почвообразовании, геохимии ряда элементов, снабжении растений макро- и микроэлементами. Этот вопрос нашел свое отражение в работах Пейве Я. В. (1980), Лукашева В. К., Лукашева К. И. (1970), Журавлевой Е. Г. (1974).

Приведенные в литературе данные свидетельствуют о разнообразных формах соединения микроэлементов с органическим веществом почвы. Как показали исследования Канунниковой Н. А. (1971), поглощение металлов органическим веществом почвы идет путем адсорбции, ионного обмена и комплексообразования.

По данным ряда ученых (Удодов П. А. и др., 1971; Шакури Б. К., 1976), микроэлементы в почвах находятся в связи с гумусовыми веществами типа гуматов металлов.

В ряде работ приводятся данные о значительном участии органического вещества почв в закреплении микроэлементов, при этом указывается, что последние могут образовывать комплексные соединения с гумусовыми веществами и прочно удерживаться в пахотном слое. Так, по данным ряда английских авторов, около 20%, а немецких исследователей — до 23—37% меди в почвах связано с органическим веществом. Исследованиями Вардья Н. П. и др. (1976) установлено, что в дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах гумусовыми веществами связывается до 82% меди, а Канунникова Н. А. (1971) делает вывод о том, что в торфяно-болотных почвах 40—60% меди и кобальта связано органическим веществом торфа.

По данным Каталымова М. В. (1965), в торфяно-болотных почвах с содержанием органического вещества 30—50% может накапливаться до 10 мг/кг цинка и более, а количество органически связанного бора в разных типах почв может колебаться от 0,5 до 8,2 кг/га.

Высокая положительная корреляция между количеством гумуса и содержанием как валовых, так и подвижных форм микроэлементов показана в работах Рудневой Е. Н. и др. (1972); Пейве Я. В. (1980). Другими авторами установлено, что микроэлементы в пахотном слое почв аккумулируются в связи с накоплением гумуса (Лупинович И. С., 1970).

Однако приводимые в литературе сведения о характере зависимости между содержанием микроэлементов и гумуса в почвах весьма противоречивы.

О положительной корреляции между содержанием меди и количеством гумуса в почвах отмечает Журавлева Е. Г. (1978), Ильин В. Б. (1982) установил, что между содержанием меди и количеством органического вещества в почвах связь криволинейная, средней силы, а Гамзиков Г. П. (1982) указал на слабый характер связи, причем ее коэффициент корреляции равнялся 0,194.

Некоторые исследователи (Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Лупинович И. С., 1973; Ковда В. А. 1980, 1982) указывают на прочную связь кобальта с органическим веществом почв и на тесную положительную корреляцию между содержанием данного элемента в почвах и количеством гумуса. Гамзиков Г. П. (1982) показал, что между содержанием подвижного кобальта и гумуса в почвах связь слабая ($r=0,184$). Не получено достоверной корреляционной зависимости содержания кобальта от количества гумуса в исследованиях (Тома С. И., 1980).

В работах отечественных и зарубежных ученых приведены данные о положительной корреляционной связи разной степени прочности между содержанием цинка и количеством гумуса в почве (Пейве Я. В., 1980). Для бурых почв Польши коэффициент данной корреляции колеблется в пределах от 0,407 до 0,758, в северных почвах Германии он равнялся 0,749, юга Швеции для валового цинка и гумуса составлял 0,47, а подвижность — 0,477. Гамзиков Г. П. (1982) установил слабую корреляционную зависимость содержания цинка от количества гумуса в почвах ($r=0,207$). Ильин В. Б., Степанова М. Д. (1982) установили близкую к сильной корреляционную связь между валовым молибденом и количеством гумуса. Зырин Н. Г., Зборищук Ю. Н. (1976) показали на отсутствие достоверной корреляционной зависимости как валового содержания, так и подвижных форм молибдена от гумуса.

Противоречивы литературные сведения и о характере корреляционной связи между содержанием марганца и количеством гумуса в почвах. Ковальский В. В., Андрианова Г. А. (1970) утверждают о том, что марганец не образует прочных соединений с гумусом. Однако в работах некоторых исследователей (Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1974) приводятся данные о тесной положительной корреляции между содержанием подвижного марганца и количеством гумуса.

Ильин В. Б. (1971) установил, что коэффициент данной корреляции составляет $0,764 \pm 0,082$. В другой работе (Ильин В. Б., 1974) автор отмечает, что данная связь — криволинейная средней силы. Не установлена строгая зависимость между подвижным марганцем и гумусом в почвах Ленинградской области (Дворникова Л. Л., 1979), показана отрицательная корреляция между данными показателями в работах английских исследователей.

О формах связи бора с гумусом имеется мало сведений. Виноградов А. П. (1957) выделил фракцию бора, связанную с органическим веществом, отмечая, что роль микроорганизмов и органогенных образований почвы в накоплении микроэлемента еще недостаточно выяснена. Пейве Я. В. (1980) установил, что бор с органическими соединениями почвы связывается при участии групп OH^- гумусовых веществ с образованием комплексных соединений. Однако ни гуминовые кислоты, ни почвенный гумус не образуют с бором прочных соединений.

Вместе с тем многими исследователями установлена положительная корреляция между содержанием бора в разных типах почв областей северо-запада России, Эстонии, Латвии, Литвы и Белоруссии и количеством гумуса. Содержание гумуса в почвах Калининградской области является важным критерием оценки содержания микроэлементов, в частности количества их подвижных форм (табл. 31). Более гумусированные дерновые и аллювиальные, а также осушаемые торфяные почвы, по сравнению с дерново-подзолистыми, имеют повышенное содержание микроэлементов.

Однако размах колебаний содержания в почвах микроэлементов невысокий. Так, содержание марганца с увеличением гумусированности почв уменьшается лишь в 1,1—1,2 раза. Концентрация молибдена в дерново-подзолистых и дерновых почвах при увеличении содержания гумуса до 4% уменьшается в 1,3—1,4 раза, а в аллювиальных и осушаемых торфяных почвах увеличивается в 1,1—1,4 раза.

Другой специфической особенностью почв области является очень низкое содержание молибдена и малые пределы его колебания в почвах. Коэффициент вариации элемента в разных типах почв изменяется от 13 до 28%. Как свидетельствуют литературные данные (Каталымов М. В., 1965; Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Анспок П. И., 1975 и др.), микроэлементы, присутствующие в почве в анионной форме (такие как молибден), меньше поглощаются почвенным комплексом и легче вымываются из почвы. В условиях Калининградской области этот процесс усиливается за счет кислой реакции почвенной среды и специфических условий гидрологического режима — обилия осадков, кратковременного или длитель-

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах с разным количеством гумуса, мг/кг

Гумус, %	n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
Дерново-подзолистые почвы							
<2,0	636	0,32±0,01	2,2±0,03	70±0,8	0,07	0,78±0,01	0,42±0,01
2,1-3,0	784	0,35±0,01	2,4±0,03	65±0,6	0,06	0,81±0,01	0,58±0,01
3,1-4,0	540	0,40±0,01	3,0±0,04	61±0,5	0,05	0,88±0,02	0,67±0,02
>4,0	258	0,47±0,02	3,4±0,09	58±1,1	0,05	0,91±0,02	0,71±0,02
Дерновые почвы							
<2,0	182	0,44±0,02	3,3±0,09	84±1,6	0,06	0,52±0,01	1,06±0,03
2,1-3,0	265	0,56±0,02	4,6±0,11	79±1,6	0,06	0,67±0,01	1,32±0,03
3,1-4,0	142	0,64±0,02	6,1±0,19	76±2,7	0,05	0,89±0,03	1,68±0,05
>4,0	168	0,76±0,03	7,4±0,18	71±2,8	0,04	1,11±0,03	1,92±0,06
Аллювиальные почвы							
<5,0	19	0,70±0,04	6,4±0,88	66±8,8	0,04	0,96±0,13	1,35±0,21
5,1-10,0	165	0,76±0,03	8,6±0,16	64±2,0	0,04	1,26±0,03	1,99±0,05
10,1-15,0	125	0,95±0,03	9,7±0,21	63±1,9	0,04	1,36±0,04	2,04±0,05
>15,0	36	1,08±0,04	9,9±0,38	59±3,0	0,05	1,47±0,07	2,20±0,08
Осушаемые торфяные почвы							
<10,0	37	0,71±0,07	6,0±0,55	65±3,6	0,03	0,92±0,07	1,04±0,09
10,1-20,0	62	0,98±0,06	8,2±0,28	58±3,0	0,04	1,44±0,06	1,77±0,07
20,1-30,0	139	1,10±0,05	8,7±0,22	56±1,8	0,04	1,45±0,04	1,83±0,06
>30,0	139	0,90±0,04	7,6±0,07	69±3,2	0,05	1,15±0,04	1,36±0,06

ного избыточного увлажнения почв и высокого дренажного стока. Не получено строгой закономерности изменения содержания микроэлементов в зависимости от количества органического вещества в осушаемых торфяных почвах.

Между содержанием микроэлементов и количеством гумуса в почвах найдена корреляционная связь разной формы и степени тесноты (табл. 32). Тесная положительная корреляция найдена между содержанием меди, кобальта и цинка, а также валового бора и количеством гумуса в дерновых почвах. В аллювиальных почвах положительная корреляционная связь средней или близкая к средней степени тесноты наблюдается между валовыми формами микроэлементов и гумусом, а для подвижных форм микроэлементов эта связь слабая. Аналогичная корреляционная связь проявляется между микроэлементами и гумусом в дерново-подзолистых почвах.

Существенное влияние на миграцию микроэлементов в почвах оказывает реакция почвенной среды. С ней тесно связана относительная активность катионов и анионов, направление химических реакций между элементами и, следовательно, образование тех или других природных соединений, характеризующихся различной растворимостью и доступностью для растений (Щербина В.В., 1972; Журавлева Е. Г., 1982).

По некоторым данным (Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970), медь, цинк, кобальт и марганец подвижны в кислой среде, молибден — в щелочной, а бор — в широком интервале рН. Однако в выводах о формах и степени тесноты корреляционной связи между содержанием микроэлементов и почвенной кислотностью у разных авторов единого мнения нет.

Пейве Я. В. (1980) наблюдал увеличение подвижности меди и цинка при возрастании кислотности почв. Рудин Б. Д., Ефремова Л. И. (1972) установили, что кислые почвы содержат меньше меди, чем нейтральные и щелочные. Громова А. Е. (1973) определила, что при рН больше 6,0 подавляющая часть цинка в почве находится в недоступной для растений форме.

Ряд авторов отмечает наличие достоверной зависимости между содержанием подвижной меди и реакцией среды (Даутов Р. Е. и др., 1979; Гамзиков Г. П., 1982; Журавлева Е. Г., 1982), причем коэффициент корреляции между этими величинами в торфяно-болотных почвах был высоким и составлял 0,70. Значительно слабее зависимость ($r=0,371$) выявлена Гамзиковым Г. П. (1982) для почв Западной Сибири. По данным Дубиковского Г. П. (1973), значения коэффициента корреляции между концентрацией подвижной меди и величиной рН для различных по гранулометрическому составу дерново-

**Корреляционная зависимость (г)
между содержанием гумуса и микроэлементов
в почвах Калининградской области**

n	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n	b	n
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>												
2218	0,53	0,39	0,48	0,35	-0,93	-0,36	-0,73	-0,70	0,39	0,28	0,33	0,24
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>												
750	0,77	0,65	0,92	0,85	-0,85	-0,58	-0,75	-0,73	-0,90	0,84	0,83	0,74
<i>Аллювиальные почвы</i>												
345	0,61	0,41	0,66	0,48	-0,41	-0,34	0,65	0,62	0,58	0,43	0,56	0,33
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>												
377	0,41	0,29	0,46	0,34	-0,40	-0,37	0,51	0,45	0,55	0,40	0,48	0,37

во-подзолистых почв Белоруссии изменялась от 0,02 до 0,12, а в полугидроморфных почвах составляли 0,20 и были ниже необходимого уровня существенности.

Польские исследователи приводят сведения об отрицательной корреляции или об отсутствии достоверной связи между содержанием меди, цинка и кислотностью почв. На отрицательную корреляцию между содержанием меди, цинка и кислотностью указывают работы Крупского М. К. и др. (1977), причем приводятся разные значения коэффициентов корреляции. Гамзиков Г. П. (1982) показал, что коэффициент парной корреляции между количеством подвижного цинка в почвах и кислотностью — 0,698.

Поливалентность марганца, способность его к окислению и восстановлению в зависимости от редокс-условий и от pH среды обуславливает одновременное существование разнообразных форм его соединений в почвах. Элемент обладает повышенной мобильностью в кислой восстановительной среде и малой при нейтральной или слабощелочной реакции (Бериня Д. Ж., 1974; Пейве Я. В., 1980).

Зырин Н. Г. и др. (1979, 1980), Ильин В. Б. (1982) отмечают, что по проблеме микроэлементов имеется значительное число работ, рассматривающих влияние почвенных факторов на содержание и подвижность марганца. Полученные разными авторами данные разноречивы, что связано с многообразием изученных почв и особенностями их свойств.

Повышение реакции среды в щелочную сторону, усиление аэрации приводит к окислению Mn^{2+} , переходу его в нерастворимые оксиды Mn^{3+} , Mn^{4+} . В связи с этим обратную зависимость содержания марганца от реакции среды отмечают ряд авторов (Пейве Я. В., 1971; Мальгин М. А., 1974, 1977; Тома С. И., 1977).

Работами ряда исследователей показано отсутствие корреляционной связи между обменной формой марганца и pH (Ильин В. Б., 1982). Не получена устойчивая зависимость содержания доступного марганца от кислотности в почвах Белоруссии (Дубиковский Г. П., 1975). Коэффициент корреляции между этими показателями в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава изменялся от -0,24 до +0,64, а в полугидроморфных почвах составил 0,24 и, в большинстве случаев, был недостоверным. Подобную закономерность автор связывает с небольшим изменением обменной кислотности в данных почвах, а также с большой динамичностью и вариабельностью распределения марганца в почвах.

В условиях кислых почв бор является энергичным водным мигрантом, легко выщелачиваемым из почв, особенно легкого гранулометрического состава. По данным Каталымова М. В. (1965), Крупского М. К. и др. (1980), Ковды В. А. и др. (1982), высоким содержанием

бора характеризуются пойменные нейтральные и щелочные почвы, а кислая среда и интенсивное промывание почв приводит к снижению количества этого элемента. В условиях нейтральной и щелочной реакции происходит сорбция бора почвами за счет возрастания концентрации ионов OH^- , способных связывать борную кислоту (Чурбанов В. М., Афанасенко Л. В., 1974; Бамберг К. К., 1978; Ковальский В. В., 1970).

На прямую зависимость между концентрацией бора и реакцией среды указывали Ветчигина Г. М., Баранов А. Н. (1971); Зырин Н. Г., Пацукевич Э. В. (1972, 1973); Зырин Н. Г. и др. (1972); Дубиковский Г. П. (1975); Тома С. И. (1980); Ильин В. Б. (1982), причем, как установила Ветчигина Е. М., коэффициент корреляции данной зависимости в почвах Ивановской области составлял 0,85.

На содержание и подвижность молибдена также значительное влияние оказывает реакция почвенной среды. При этом установлено (Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970), что при подкислении почв снижается концентрация этого элемента, а в почве с высоким рН наблюдается достаточно большая подвижность молибдена.

Разноречивы литературные данные и в вопросах установления зависимости между количеством кобальта в почвах и кислотностью. Следует отметить, что по кобальту имеется мало работ, что связано прежде всего с тем, что роль этого элемента в развитии и росте растений была установлена относительно недавно (Школьник М. Я., 1974; Ягодин Б. А., 1974).

Кобальт относится к элементам малоподвижным в почвах и в системе почва — растение вследствие его сильной сорбируемости. Этот элемент способен менять свою валентность и его растворимость в почвах в зависимости от окислительно-восстановительных условий. При переходе двухвалентного кобальта в трехвалентный он образует труднорастворимые комплексы с органическим веществом и подвижность его уменьшается (Виноградов А. П., 1957; Возбуждая А. Е., 1968). Органические вещества почвы в зависимости от условий могут образовывать с кобальтом как нерастворимые, так и растворимые соединения.

Прохоров В. М. и др. (1979), Пейве Я. В. (1980) показали, что с увеличением рН уменьшается подвижность кобальта, а максимум сорбции элемента наблюдается при рН 7,5—8,5.

В исследованиях некоторых авторов (Лупинович И. С., 1973; Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г., 1977) наблюдалась довольно тесная связь между реакцией среды и содержанием подвижного кобальта, причем коэффициент корреляции составил 0,345. В работе Кудло К. К. и др. (1972) приводятся данные об обратной связи между кобальтом и рН.

Не отмечается четкой зависимости между концентрацией кобальта и кислотностью почв в работе Дубиковского Г. П. (1975).

Об отсутствии достоверной корреляционной связи между содержанием микроэлементов в почвах и их кислотностью свидетельствуют некоторые работы (Рочев В. А., Мамаева Л. К., 1975; Зырин Н. Г. Сборишук Ю. Н., 1976; Дворникова Л. Л., 1979).

Обобщение результатов собственных исследований и литературных данных свидетельствует о сложности изучаемых процессов поведения микроэлементов в почвах в зависимости от реакции среды. Большой теоретический, в также практический интерес имеют данные фактического содержания микроэлементов в почвах с разной кислотностью, а также установление форм и степени тесноты корреляционной связи между данными показателями.

Закономерности изменения концентрации отдельных микроэлементов в зависимости от кислотности разных типов почв неодинаковые. В дерново-подзолистых почвах с увеличением pH растет концентрация бора, меди, марганца, кобальта и цинка, а также уменьшается количество молибдена. В дерновых и аллювиальных, а также осушаемых торфяных почвах не наблюдается строгой закономерности изменения содержания микроэлементов в зависимости от pH. Так, с ростом данного показателя в почвах несколько увеличивается содержание марганца, а также бора в дерновых и аллювиальных почвах, кобальта и цинка в аллювиальных и молибдена в торфяных почвах. Количество меди в рассматриваемых почвах с увеличением обменной кислотности, наоборот, уменьшается. Уменьшается также количество бора в осушенных торфяных почвах, молибдена — в дерновых и аллювиальных, а также кобальта и цинка — в дерновых и осушаемых торфяных почвах.

Между содержанием микроэлементов в почвах и гидролитической кислотностью прослеживается обратная зависимость.

Методом корреляционного анализа установлены форма и степень тесноты корреляционных связей зависимости содержания микроэлементов от почвенной кислотности. Анализ полученных результатов показал отсутствие достоверной корреляции между валовым количеством микроэлементов и кислотностью почв. В дерновых и аллювиальных почвах для меди, молибдена, кобальта и цинка эта связь отрицательная, средней силы, для бора и марганца — слабая положительная. В дерново-подзолистых и осушаемых торфяных почвах — слабая и малодостоверная.

В таблице 33 представлены значения коэффициентов корреляции между содержанием подвижных форм микроэлементов и кислотностью разных типов почв (значения коэффициентов даны для общей совокупности почв).

**Корреляционная зависимость (г) между кислотностью
и содержанием подвижных форм микроэлементов в почвах**

n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
2218	$\frac{0,42 \pm 0,02}{-0,27 \pm 0,02}$	$\frac{0,52 \pm 0,02}{-0,23 \pm 0,02}$	$\frac{0,27 \pm 0,02}{0,33 \pm 0,02}$	$\frac{-0,69 \pm 0,01}{0,38 \pm 0,02}$	$\frac{0,68 \pm 0,01}{-0,33 \pm 0,02}$	$\frac{0,34 \pm 0,02}{-0,26 \pm 0,02}$
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>						
757	$\frac{0,57 \pm 0,03}{-0,24 \pm 0,04}$	$\frac{-0,57 \pm 0,03}{0,74 \pm 0,02}$	$\frac{0,66 \pm 0,02}{-0,68 \pm 0,02}$	$\frac{-0,70 \pm 0,02}{0,35 \pm 0,03}$	$\frac{-0,64 \pm 0,02}{0,55 \pm 0,03}$	$\frac{0,41 \pm 0,03}{0,63 \pm 0,02}$
<i>Аллювиальные почвы</i>						
345	$\frac{0,59 \pm 0,04}{-0,30 \pm 0,06}$	$\frac{-0,24 \pm 0,06}{0,51 \pm 0,05}$	$\frac{0,62 \pm 0,04}{-0,41 \pm 0,05}$	$\frac{-0,71 \pm 0,03}{0,70 \pm 0,03}$	$\frac{0,41 \pm 0,05}{-0,24 \pm 0,06}$	$\frac{0,37 \pm 0,03}{-0,36 \pm 0,05}$
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>						
377	$\frac{-0,55 \pm 0,04}{0,53 \pm 0,04}$	$\frac{-0,45 \pm 0,05}{0,40 \pm 0,05}$	$\frac{0,29 \pm 0,06}{-0,50 \pm 0,05}$	$\frac{0,22 \pm 0,06}{-0,75 \pm 0,03}$	$\frac{-0,56 \pm 0,04}{0,52 \pm 0,04}$	$\frac{-0,49 \pm 0,03}{0,42 \pm 0,05}$

Примечание: в числителе представлены значения коэффициентов корреляции между содержанием микроэлементов и обменной кислотностью, в знаменателе — гидролитической кислотностью.

Для общей совокупности дерново-подзолистых почв характерно наличие прямой корреляции средней или близкой к средней степени тесноты между содержанием бора, меди, кобальта и обменной кислотностью, и обратной — для молибдена.

В дерновых и аллювиальных, а также осушаемых торфяных почвах не наблюдается строгой закономерности корреляционных связей отдельных микроэлементов с кислотностью. Так, в дерновых почвах между содержанием микроэлементов и обменной кислотностью связь средней (или близкая к средней) степени, но для бора и марганца она положительная, а для меди, молибдена, кобальта и цинка — отрицательная. В аллювиальных почвах положительная корреляция слабой или средней силы характерна для бора, марганца, кобальта и цинка, а для меди и молибдена — отрицательная. Аналогичная закономерность имеет место и в осушаемых торфяных почвах, где между содержанием бора, меди, кобальта, цинка и рН связь отрицательная средней степени тесноты, а для марганца и молибдена — слабая положительная.

Между содержанием подвижных форм микроэлементов и гидrolитической кислотностью в дерново-подзолистых почвах корреляция слабая, а в дерновых, аллювиальных и осушаемых торфяных почвах — слабая или средней степени тесноты, причем коэффициенты корреляции данной связи имеют значения, противоположные по знаку коэффициентам для обменной кислотности.

Кроме обменной и гидrolитической кислотности показателями, характеризующими реакцию среды и способность почв к ионному обмену, являются сумма поглощенных оснований и степень насыщенности почв основаниями. Как показали исследования Кац-Кацас М. М., Котович-Кац Е. А. (1971), Дубиковского Г. П. (1973), Каск Р. П. и др. (1981), теоретически функциональная зависимость между обменной, гидrolитической кислотностью, суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности основаниями в почвах находит свое проявление в виде тесных корреляционных связей. Если в ряде случаев корреляционную зависимость между содержанием микроэлементов и отдельными видами кислотности (например, обменной или гидrolитической) в определенной разновидности почв вскрыть не удастся, то в других разновидностях может четко проявляться достоверная зависимость от суммы поглощенных оснований или степени насыщенности почв основаниями. Это обстоятельство выдвигает необходимость при проведении корреляционно-статистических исследований учитывать все характеристики реакции среды, отражающие разнообразные взаимосвязи почвенных условий.

В работе Стоянова Д. В. (1973) имеются сведения о корреляционной связи между содержанием микроэлементов и емкостью обмена, а также степенью насыщенности основаниями, карбонатностью. При этом установлено, что коэффициент корреляции между содержанием цинка и карбонатностью составляет 0,755, а емкостью поглощения 0,748.

Проведенные исследования позволили определить зависимость содержания микроэлементов от величины суммы поглощенных оснований и степени насыщенности основаниями и выявили своеобразные закономерности между данными показателями в почвах Калининградской области.

В дерново-подзолистых, дерновых и аллювиальных почвах в большинстве случаев наблюдается увеличение содержания бора, меди, марганца, кобальта и цинка с ростом величины суммы поглощенных оснований и степени насыщенности основаниями и уменьшение количества молибдена. Подобная закономерность нарушается в осушаемых торфяных почвах, где в основном наблюдается обратная зависимость между количеством микроэлементов в почвах и данными агрохимическими показателями.

Исследование форм и степени устойчивости корреляционных связей между содержанием подвижных форм микроэлементов и суммой поглощенных оснований показывают, что в дерново-подзолистых и дерновых почвах для бора, меди, кобальта и цинка данная связь положительная, средней силы, а для молибдена — отрицательная (табл. 34). Между содержанием подвижного марганца и суммой поглощенных оснований в данных почвах связь неустойчивая и малодостоверная. В аллювиальных почвах форма корреляционной связи аналогична последней в дерново-подзолистых и дерновых почвах, но степень тесноты связи слабая. По-видимому, здесь сказываются более сильное влияние органического вещества и относительная обогащенность им данных почв по сравнению с дерново-подзолистыми почвами.

Еще более низкой степени устойчивости корреляционная связь между микроэлементами и суммой поглощенных оснований характерна для общей совокупности осушаемых торфяных почв, что подтверждает ранее сделанный вывод о более сильном влиянии на содержание микроэлементов количества органического вещества. Форма данной связи в органогенных почвах отличается от последней в минеральных почвах.

Существенные различия наблюдаются и в характере корреляционных связей между содержанием подвижных форм микроэлементов и степенью насыщенности почв основаниями (табл. 35).

Для почв области характерна отрицательная корреляционная связь средней силы между количеством молибдена и степенью насыщен-

Таблица 34

Корреляционная зависимость (г) между величиной суммы поглощенных оснований и содержанием подвижных форм микроэлементов в почвах

n	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
2218	0,52±0,02	0,65±0,01	-0,33±0,02	-0,62±0,01	0,49±0,02	0,51±0,02
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>						
757	0,60±0,03	0,78±0,02	0,49±0,03	-0,62±0,02	0,69±0,02	0,61±0,03
<i>Аллювиальные почвы</i>						
345	0,40±0,05	0,20±0,06	0,56±0,04	-0,53±0,04	0,48±0,05	0,45±0,05
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>						
377	-0,47±0,05	-0,17±0,06	-0,48±0,05	0,49±0,05	-0,46±0,05	-0,52±0,05

Корреляционная зависимость (г) между степенью насыщенности почв основаниями и содержанием подвижных форм микроэлементов

п	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
2218	0,39±0,02	0,58±0,01	0,22±0,02	-0,57±0,01	0,50±0,02	0,42±0,02
<i>Дерновые глеевые и глееватые почвы</i>						
757	0,37±0,03	0,22±0,04	0,65±0,02	-0,53±0,03	0,29±0,04	0,28±0,04
<i>Аллювиальные почвы</i>						
345	0,45±0,05	-0,39±0,05	0,62±0,04	-0,72±0,03	0,47±0,05	0,44±0,05
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>						
377	0,44±0,06	-0,37±0,05	-0,34±0,06	-0,37±0,05	-0,49±0,05	0,37±0,07

ности основаниями, а также достоверная прямая связь для подвижных форм бора и цинка. Для остальных элементов получены разнообразные зависимости, характерные для определенного типа почв. Так, для общей совокупности дерново-подзолистых, дерновых и аллювиальных почв (т. е. минеральных почв) характерна слабая или средней силы положительная корреляция между содержанием меди, марганца и кобальта и степенью насыщенности основаниями, которая нарушается в аллювиальных почвах для меди, где она слабая отрицательная и малодостоверная. В осушаемых торфяных почвах имеет место слабая, но достоверная обратная связь между количеством меди, марганца, молибдена, кобальта и степенью насыщенности основаниями.

Таким образом, величины, формы и закономерности изменения как валового содержания, так и количества подвижных форм микроэлементов в почвах в зависимости от их физических и агрохимических свойств разнообразны. В большей степени они зависят от гранулометрического состава минеральных и зольности органогенных почв, микроэлементного состава почвообразующих пород, а также содержания гумуса и суммы поглощенных оснований, меньше — от обменной и гидролитической кислотности и степени насыщенности почв основаниями.

Понимание и вскрытие этих закономерностей создают информативную основу для более глубокого познания сложнейших процессов взаимосвязи свойств почв и их микроэлементного состава, определяющих то или иное направление формирования и развития почв.

4. Основные аспекты изучения вертикального распределения микроэлементов и геохимические ассоциации накопления и рассеяния микроэлементов в почвах

4.1. Особенности вертикального распределения микроэлементов в почвах

Изучение вопросов вертикального распределения микроэлементов в почвах имеет важное теоретическое и практическое значение. Оно позволяет понять сложную гамму взаимоотношений между содержанием микроэлементов в отдельных генетических горизонтах и их агрохимическими параметрами, вопросы перетрансформации эле-

ментов в почвенной толще, их миграции, степени выноса или поступления в пахотный слой, влияние различных факторов на подвижность микроэлементов в почвенном профиле и др.

В литературе приводятся сведения о том, что закономерности распределения микроэлементов по почвенному профилю определяются типом почв и интенсивностью почвообразовательного процесса (Бутузова О. В., Сергеева Ж. В., 1971; Петербургский А. В., Праздникова Р. В., 1971; Антонова Г. Г. и др., 1972; Аношко В. С., 1973).

Установлено, что значительные колебания как валового количества, так и содержания подвижных форм микроэлементов в генетических горизонтах почв обусловлены многими факторами, среди которых главными являются биологическая аккумуляция, процессы выщелачивания, физико-химические свойства элементов и их соединений, разнообразие почвообразующих пород, геоморфологические и биоклиматические условия территории и другие (Зырин Н. Г., Малинина М. С., 1977; Чертко Н. К., Шакури Б. К., 1980).

Действие различных факторов на вертикальное распределение микроэлементов по профилю неодинаковое и специфично для каждого типа почв с характерным для него генезисом и физико-химическими свойствами отдельных генетических горизонтов. Поэтому характер вертикальной миграции элементов необходимо рассматривать отдельно для каждого типа почв с учетом специфических условий почвообразовательного процесса.

Дерново-подзолистые почвы. Проблеме изучения закономерностей распределения микроэлементов по профилю дерново-подзолистых почв посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых. Некоторые авторы (Крупский М. К. и др., 1978; Анспок П. И., 1978) показали, что микроэлементы располагаются по генетическим горизонтам почв закономерно, причем их содержание в почвах зависит от степени оподзоленности. Другими авторами не найдены определенные закономерности в распределении микроэлементов по почвенному профилю. Как они отмечают (Антонова Г. Г. и др., 1972; Дворникова Л. Д., 1974; Кротких Т. А., Елькина Г. Я., 1976; Журавлева Е. Г., 1974), содержание и распределение микроэлементов в профиле дерново-подзолистых почв определяет степень выраженности подзолистого и дернового процессов. В результате дернового процесса происходит биологическая аккумуляция микроэлементов в перегнойном горизонте, а за счет подзолообразования идет их вымывание и накопление в иллювиальном горизонте. Поэтому характерным для дерново-подзолистых почв является наличие двух максимумов в содержании микроэлементов — в перегнойно-аккумулятивном и иллювиальном горизонтах.

Однако большинство исследователей приходят к общему мнению о биогенной аккумуляции микроэлементов в верхних горизонтах почв и более высоком их содержании в пахотном слое по отношению к почвообразующей породе.

Противоречивы литературные сведения о форме и направлении изменения содержания микроэлементов по почвенному профилю. По данным одних авторов (Небольсин А. Н., 1969; Сергеева Н. Г., 1973; Попов Г. Н., 1974; Адерихин П. Г., 1980; Добролюбский О. К., Кривокапич Д. Р., 1980), содержание микроэлементов в почвенном профиле уменьшается с глубиной, другие (Шарова А. С. и др., 1970; Жукова В. А., Солодовникова Е. А., 1972), наоборот, показали увеличение их количества сверху вниз по профилю.

Некоторыми исследователями (Корбут Г. А., Костенко Л. И., 1976; Адерихин П. Г., 1980) не выявлено определенных закономерностей распределения микроэлементов по генетическим горизонтам.

Обзор литературных данных показывает сложность и разнообразие закономерностей профильного распределения микроэлементов в дерново-подзолистых почвах. Это послужило одной из причин более деятельного изучения закономерностей распределения микроэлементов в профилях разных по гранулометрическому составу дерново-подзолистых почв области.

Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы. Особенности содержания и распределения микроэлементов в профилях дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв связаны со спецификой их генезиса, условий формирования, водно-воздушного режима и др. Главными критериями, определяющими микроэлементный состав этих почв, являются сравнительно низкое содержание частиц илистой фракции, способствующих сорбции химических элементов, промывной водный режим, обуславливающий их вынос в нижние горизонты профиля, — факторы, способствующие обеднению верхней части профиля этих почв микроэлементами. Данный процесс усилен в связи с тем, что эти почвы сформировались преимущественно на рыхлых почвообразующих породах, как правило, легкого гранулометрического состава.

С другой стороны, дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы Калининградской области отличаются от их аналогов на территории Европейской части РФ, Белоруссии и Прибалтики более высоким содержанием гумуса и высокой биогенной активностью, что приводит к энергетическому включению химических элементов в биологический круговорот.

В таблице 36 представлены обобщенные данные содержания и распределения микроэлементов в профилях дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв. Валовое содержание бора в профилях данных

Содержание микроэлементов в профиле дерново-подзолистой песчаной почвы, мг/кг, n=21

Горизонт, глубина, см	Формы элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Ап, 0-31	вал.	6,0	4,9	96,1	0,63	5,9	27,2
	подв.	0,22	1,2	20,2	0,069	0,64	0,44
AB, 31-54	вал..	8,5	5,4	108,9	0,57	6,7	40,2
	подв.	0,29	1,7	23,0	0,068	0,58	0,32
B, 54-87	вал.	8,5	6,0	106,6	0,38	8,3	40,9
	подв.	0,25	1,6	28,0	0,060	0,31	0,29
BC, 87-100	вал.	12,4	8,0	186,3	1,15	10,8	7,4
	подв.	0,40	2,2	36,6	0,051	1,16	0,79
C, 100-120	вал.	6,6	7,7	220,4	1,14	9,3	33,7
	подв.	0,23	2,3	20,4	0,056	0,94	1,32

почв колеблется в пределах от 6,0 до 12,4; меди — от 4,9 до 8,0; марганца — от 96,1 до 220,4; молибдена — от 0,38 до 1,44; кобальта — от 5,9 до 10,8 и цинка — от 27,2 до 47,4 мг/кг. Количество подвижных форм микроэлементов составляет соответственно: 0,2—0,40; 1,2—2,3; 20,2—36,6; 0,051—0,069; 0,31—1,16 и 0,29—1,32 мг/кг.

В распределении микроэлементов по профилю этих почв имеются особенности. Для них характерно более высокое содержание микроэлементов в подстиляющей породе по сравнению с пахотным слоем и постепенное увеличение их количества по профилю сверху вниз. Это свидетельствует об энергичном процессе вымывания элементов из верхних горизонтов почв, на что указывает также наличие ясно выраженного иллювиального горизонта, характеризующегося максимальным накоплением как валового количества, так и подвижных форм микроэлементов.

Иллювиальный горизонт в рассматриваемых почвах расположен на глубине 87—100 см, что указывает на глубокое выщелачивание элементов питания. В этих почвах слабо выражена биогенная аккумуляция подвижных форм цинка и кобальта, которая более сильно выражена у молибдена. Для валовых форм микроэлементов, а также подвижных форм бора, меди и марганца биогенная аккумуляция не наблюдается.

Сергеева Ж. В. (1971) и некоторые другие авторы отмечают, что для почв легкого гранулометрического состава типичны два максимума накопления микроэлементов — в горизонтах A_0 и В. Для песчаных дерново-подзолистых почв области, согласно данным наших исследований, характерны также два максимума: в иллювиальном горизонте и подстиляющей породе.

В литературе приводятся данные о влиянии агрохимических свойств почв на содержание и распределение микроэлементов по профилю. В работах ряда исследователей (Иванов Г. М., 1970; Аношко В. С., 1973; Мальгин М. А., 1974; Зырин Н. Г., Малинина М. С., 1977; Орлова Э. Д. и др., 1984) имеются сведения о прямой пропорциональной зависимости содержания и распределения микроэлементов в профилях почв от количества физической глины и рН. Другие авторы (Эль-Мелиги А. С., 1978; Белокобыльский И. М., 1979) показали, что распределение микроэлементов по профилю почв тесно связано с распределением гумуса.

В дерново-подзолистых песчаных почвах области прослеживается корреляция между распределением подвижных форм молибдена, кобальта и цинка в верхних горизонтах и изменением содержания гумуса. Подобная зависимость отсутствует у валовых форм микроэлементов, а также у подвижных форм бора, меди и марганца. Хорошая корреляционная связь наблюдается между распределением под-

вижного молибдена в профиле почвы и изменением величины гидролитической кислотности.

Для микроэлементного состава профиля песчаной почвы характерно обеднение элементами верхней части профиля, слабая их биогенная аккумуляция, сильно выраженный процесс выщелачивания и накопления микроэлементов в иллювиальном горизонте и подстилающей породе, а также слабая связь их распределения с изменением гумуса по профилю, более сильно проявляющаяся в зависимости от содержания физической глины, кислотности и степени насыщенности основаниями.

Более полное представление о зависимостях и закономерностях распределения микроэлементов по профилю почв дают сведения об их запасах в отдельных генетических горизонтах и в профиле в целом (табл. 37). Запас микроэлементов рассчитан с учетом объемной массы, мощности генетического горизонта и концентрации в нем элементов в мг/кг.

По общему запасу валовых форм в профиле микроэлементы располагаются в убывающем ряду следующим образом: $Mu > Zn > B = Co > Cu > Mo$; подвижных — $Mn > Cu > Co > Zn > B > Mo$. Отношение запаса подвижных форм микроэлементов к валовым, выраженное в процентах, варьирует в широких пределах и у цинка составляет 1,5; бора — 3,3; кобальта — 8,22; молибдена — 8,3; марганца — 18,6 и меди — 28,0. Этот показатель является существенным критерием, характеризующим закономерности динамики различных форм микроэлементов в отдельных типах почв.

Подвижность разных микроэлементов в отдельных генетических горизонтах изменяется неодинаково. Так, у бора и меди она колебалась в небольших пределах — соответственно от 2,9 до 3,7 и от 24,3 до 31,8%. У марганца и молибдена — в более широких пределах — соответственно от 9,3 до 26,3 и от 3,9 до 15,6%, причем она более высокая в верхней части профиля и резко уменьшается в иллювиальном горизонте и подстилающей породе, что, по-видимому, связано с действием карбонатов на снижение подвижности данных элементов. Подобная закономерность замечена в работах Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970).

Подвижность кобальта колеблется в пределах от 3,6 до 10,8%, цинка от 0,6 до 3,9%, причем наибольшая ее величина в пахотном и иллювиальном горизонтах, а также в подстилающей породе, высокая подвижность микроэлементов в пахотном слое является следствием высокой биологической активности почв, а в нижних горизонтах профиля она обусловлена спецификой химического состава почвообразующих пород и особенностями гидрологического режима.

Запас микроэлементов в профиле дерново-подзолистой песчаной почвы, кг/га, п=21

Горизонт, глубина, см	Показатели	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.
Ап, 0-31	$\bar{x}$	25,7	0,94	21,0	5,1	411,7	86,5	2,7	0,30	25,3	2,7	116,5	1,9
	$\pm S\bar{x}$	1,5	0,17	1,6	0,51	31,7	9,0	0,13	0,04	1,1	0,25	8,6	0,35
	m	18,9	20,9	20,1	17,4	18,1	20,5	20,9	28,0	18,9	24,5	18,5	20,0
AB, 31-54	$\bar{x}$	27,3	0,93	17,3	5,5	349,4	73,8	1,8	0,22	21,5	1,9	129,0	0,74
	$\pm S\bar{x}$	2,2	0,16	1,3	0,91	30,2	9,3	0,13	0,05	1,1	0,39	6,7	0,09
	m	20,0	20,7	16,5	18,8	15,3	17,5	14,0	20,6	16,0	17,3	20,5	7,8
B, 54-87	$\bar{x}$	39,7	1,17	28,0	7,5	498,1	130,8	1,8	0,28	38,8	1,4	191,1	1,36
	$\pm S\bar{x}$	3,1	0,23	2,1	1,08	52,8	18,2	0,14	0,05	2,8	0,18	9,3	0,19
	m	29,1	26,0	26,7	25,6	21,9	31,0	14,0	26,2	28,9	12,7	30,4	14,3
BC, 87-100	$\bar{x}$	23,5	0,76	15,1	4,2	352,6	69,3	2,2	0,10	20,4	2,2	89,7	1,50
	$\pm S\bar{x}$	2,0	0,13	1,0	0,71	28,6	9,3	0,17	0,01	1,2	0,38	4,9	0,19
	m	17,3	16,9	14,4	14,3	15,5	16,4	17,0	9,3	15,2	20,0	14,3	15,8
C, 100-120	$\bar{x}$	20,0	0,70	23,3	7,0	666,9	61,7	4,4	0,17	28,1	2,8	102,0	4,0
	$\pm S\bar{x}$	1,5	0,09	2,0	0,97	42,4	9,4	0,49	0,02	1,9	0,51	5,4	0,55
	m	14,7	15,5	22,3	23,9	29,2	14,6	34,1	15,9	21,0	25,5	16,3	42,1
	Σ	136,2	4,5	104,7	29,3	2278,7	422,1	12,9	1,07	134,1	11,0	628,3	9,5

 $\bar{x}$ — среднее содержание микроэлементов в генетическом горизонте, кг/га $\pm S\bar{x}$ — относительная ошибка средней, кг/га

m — процентное содержание микроэлементов в генетическом горизонте от суммарного их количества в профиле почвы

 Σ — суммарное содержание микроэлементов в профиле почвы, кг/га

Количественную оценку сложной гаммы процессов трансформации, перераспределения и аккумуляции микроэлементов в отдельных генетических горизонтах почв дают величины коэффициентов почвенной дифференциации. Так, коэффициент накопления — K_n (отношение содержания микроэлементов в генетическом горизонте к их количеству в почвообразующей породе) позволяет дать количественную оценку процессов миграции элементов в почвенном профиле (табл. 38).

Величины коэффициентов накопления отдельных элементов в генетических горизонтах дерново-подзолистых песчаных почв имеют разные значения и зависят от свойств химических элементов, их способности мигрировать по почвенному профилю и закрепляться в том или ином горизонте, а также от характера подстилающей породы и концентрации в ней данных элементов. Так, тенденцию к более высокому накоплению в генетических горизонтах по сравнению с породой имеют валовой и подвижный кобальт, валовые формы бора и цинка, а также подвижные формы меди и марганца. Слабо накапливаются в профиле подвижный цинк и молибден, а также валовые формы меди и марганца.

Приведенные данные показывают, что валовой бор, подвижная медь, кобальт и цинк относятся к сильным мигрантам и в значительной степени перетрансформируются в почвенном профиле. Марганец, валовая медь и подвижный бор — средние мигранты и в той или иной степени способны накапливаться в генетических горизонтах почв. Молибден относится к слабым мигрантам.

Общей закономерностью дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв является увеличение значений коэффициентов накопления сверху вниз по профилю, что показывает на высокую миграцию микроэлементов в почвенной толще, а также на обеднение последними верхних горизонтов и их концентрацию в более глубоких слоях. Наиболее высокие значения коэффициентов микроэлементов характерны для иллювиального горизонта (BC).

Количественную характеристику степени выщелачивания микроэлементов из гумусового горизонта определяет коэффициент иллювиальности $K_{ил}$ (отношение концентрации микроэлементов в горизонте вымывания к их содержанию в гумусовом горизонте).

В дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах коэффициент иллювиальности валового содержания микроэлементов имеет следующие значения: для бора — 2,07; меди — 1,63; молибдена — 1,83; кобальта — 1,83; цинка — 1,74. Приведенные значения коэффициентов свидетельствуют о высокой степени выщелачивания валовых форм микроэлементов из гумусового горизонта. По степени вымываемости из гумусового горизонта валовых форм микроэлементов

**Коэффициенты накопления микроэлементов
в профилях дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв**

Почвообразующая порода		В		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.	вал.	подв.
Озерно-ледниковые безвалунные пески	Ап	2,30	1,38	1,26	3,24	1,81	4,49	1,26	3,45	4,92	6,40	2,25	1,02
	AB	3,25	1,81	1,38	4,59	2,05	5,11	1,14	3,40	5,58	5,80	3,32	0,74
	В	3,25	1,56	1,54	4,32	2,01	6,22	0,76	3,00	6,92	3,10	3,38	0,67
	BC	4,75	2,50	2,05	5,95	3,52	8,13	2,3	2,55	9,00	11,60	3,92	1,84
Моренные валунные супеси	Ап	1,58	1,10	1,00	2,79	0,92	1,74	0,70	2,30	1,11	1,31	1,35	0,48
	AB	2,24	1,45	1,10	3,95	1,04	1,98	0,63	2,27	1,26	1,18	1,99	0,35
	В	2,24	1,25	1,22	3,72	1,02	2,41	0,42	2,00	1,57	0,63	2,02	0,32
	BC	3,26	2,00	1,63	5,12	1,77	3,16	1,28	1,70	2,04	2,37	2,35	0,87
Водно-ледниковые безвалунные легкие суллинки	Ап	1,02	0,76	0,54	1,17	0,34	0,69	0,39	1,15	0,64	0,90	0,76	0,25
	AB	1,44	1,00	0,59	1,65	0,38	0,78	0,36	1,13	0,73	0,82	1,12	0,18
	В	1,44	0,86	0,66	1,55	0,37	0,95	0,24	1,00	0,90	0,44	1,14	0,17
	BC	2,10	1,38	0,88	2,14	0,65	1,24	0,72	0,85	1,17	1,63	1,32	0,45
Средний Кн в профиле		2,41	1,42	1,15	3,35	1,32	3,08	0,85	2,07	2,99	3,02	2,08	0,61
Средний Кн в иллювиальном горизонте		3,37	1,96	1,52	4,40	1,98	4,18	1,43	1,70	4,07	5,20	2,53	1,05

данные элементы располагаются в ряд убывания: $B > Mn > Co > = Mo > Zn > Cu$.

Коэффициенты иллювиальности подвижных форм микроэлементов имеют значения: для бора — 1,82; меди — 1,83; марганца — 1,81; молибдена — 0,74; кобальта — 1,81; цинка — 1,80, что свидетельствует о менее значительном вымывании подвижных форм элементов по сравнению с валовым. Подобное явление, по-видимому, связано с биогенным закреплением подвижных форм микроэлементов в гумусовом горизонте. Наиболее сильная биогенная аккумуляция проявляется у молибдена, где содержание элемента в горизонте вымывания ниже, чем в гумусовом горизонте.

Биогенная аккумуляция микроэлементов количественно выражается через коэффициент биологического накопления — $K_{бн}$ (отношение содержания микроэлементов в гумусовом горизонте к их количеству в почвообразующей породе). По величине данного коэффициента можно судить, насколько велико закрепление микроэлементов в гумусовом горизонте по сравнению с почвообразующей породой, а следовательно, с биологической активностью пахотного слоя почв.

Коэффициенты биологического накопления изменяются в широких пределах и для валового содержания элементов составляют 0,34—4,93, подвижных — 0,25—6,40. В целом у большинства микроэлементов коэффициенты биологического накопления подвижных форм выше, чем валовых, что свидетельствует о более высоком участии последних в биологическом круговороте элементов. Низкие значения коэффициентов накопления подвижных форм по сравнению с валовыми характерны для бора и цинка.

По способности к биологическому накоплению валовые формы микроэлементов можно расположить в следующий убывающий ряд $Co > B > Zn > Mn \geq Cu > Mo$, а подвижных форм — $Co > Cu > Mo > Mn > B > Zn$. В зависимости от характера почвообразующей породы расположение элементов в приведенных рядах может меняться. Так, в почвах на озерно-ледниковых песках проявляется более высокая биогенная аккумуляция марганца и менее значительная — меди. В почвах на моренных валунных супесях и озерно-ледниковых легких суглинках по валовым формам данный ряд приобретает следующий вид: $B > Zn > Co > Cu > Mn \geq Mo$, т. е. проявляется более высокая биогенная аккумуляция валовых форм бора и цинка и менее значительная — валового кобальта. Более существенные изменения наблюдаются в расположении подвижных форм микроэлементов в убывающем ряду биогенной аккумуляции. Так, в почвах на моренных супесях он имеет вид: $Cu > Mo > Mn > Co > B > Zn$, что характеризует более высокую аккумуляцию меди, молибдена и марганца по сравнению с

другими элементами, а в почвах на легких суглинках — $\text{Cu} \leq \text{Mo} < \text{Co} < \text{B} < \text{Mn} < \text{Zn}$ и характеризует повышение активности биогенного накопления кобальта и бора.

Общей характерной особенностью биогенного накопления микроэлементов в песчаных и супесчаных почвах является слабая аккумуляция валовых форм меди, марганца и молибдена, а также подвижных форм цинка и бора.

Различия в способности к аккумуляции микроэлементов в почвах на разных почвообразующих породах свидетельствуют о разнообразии форм связи элементов с органическим веществом и о значительном влиянии почвообразовательного процесса и характера пород на миграцию и биогенное накопление отдельных химических элементов.

Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы. Специфика условий формирования и развития дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почв определила характерные особенности их свойств и химического, в том числе и микроэлементного, состава.

Повышенное содержание физической глины и гумуса в пахотном слое этих почв по сравнению с песчаными и супесчаными способствует некоторому накоплению и закреплению микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте, а также является одной из главных причин относительно высокой концентрации как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в почвенном профиле (табл. 39, 40). Эти различия более существенны для подвижных форм микроэлементов (в 1,1–2,1 раза) по сравнению с валовыми (в 1,1–1,5 раза).

Большие величины коэффициентов вариации свидетельствуют о значительных колебаниях в содержании микроэлементов в отдельных генетических горизонтах. Они более высокие для подвижных форм элементов по сравнению с валовыми.

Приведенные данные показывают, что среднесуглинистые почвы отличаются от легкосуглинистых более высоким валовым содержанием и количеством подвижных форм микроэлементов. Содержание валовых форм микроэлементов в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах в 1,1–2,6 раза, а подвижных — 1,1–2,3 раза выше, чем в легкосуглинистых. Более существенные различия в содержании микроэлементов в данных почвах характерны для бора, валовых форм марганца, молибдена, кобальта и подвижного цинка, что объясняется неоднородностью минералогического состава рассматриваемых почв, неодинаковой способностью отдельных химических элементов закрепляться с илистой фракцией и органическим веществом почв, различной подвижностью элементов в зависимости от почвенных условий и др.

**Содержание микроэлементов в профиле дерново-подзолистой
легкосуглинистой почвы, мг/кг, п=45**

Горизонт, глубина, см	Формы элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Ап, 0-20	вал.	10,1	7,3	136,1	0,59	9,8	36,7
	подв.	0,45	2,4	29,3	0,061	0,71	0,48
AB, 20-32	вал.	8,9	6,8	107,4	0,52	8,6	51,4
	подв.	0,37	2,8	31,4	0,059	0,65	0,40
B, 32-87	вал.	14,6	9,7	178,6	0,61	10,4	60,9
	подв.	0,54	3,3	39,6	0,056	1,02	0,66
BC, 87-105	вал.	6,8	8,0	93,9	0,43	9,3	39,2
	подв.	0,27	2,6	33,4	0,060	0,88	0,56
C, 105-120	вал.	6,7	6,3	88,6	0,31	7,9	30,1
	подв.	0,18	1,9	28,2	0,063	0,73	0,57

**Содержание микроэлементов в профиле дерново-подзолистой
среднесуглинистой почвы, мг/кг, n=21**

Горизонт, глубина, см	Формы элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Ап, 0-20	вал.	12,8	9,8	152,6	0,52	13,4	55,8
	подв.	0,50	3,1	35,9	0,064	0,88	0,57
AB, 20-36	вал.	10,2	9,1	111,2	0,43	12,2	63,6
	подв.	0,43	3,2	31,0	0,055	0,72	0,49
B, 36-80	вал.	18,4	11,9	198,3	0,67	16,1	65,9
	подв.	0,67	4,0	44,2	0,057	1,12	0,74
BC, 80-110	вал.	8,0	8,1	101,9	0,32	10,8	48,6
	подв.	0,26	3,2	39,8	0,059	1,00	0,64
C, 110-120	вал.	7,1	7,0	252,6	1,60	8,1	33,2
	подв.	0,24	1,1	50,0	0,071	0,66	1,51

В распределении микроэлементов по профилю дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почв наблюдаются определенные закономерности, специфичные для данных типов почв. В рассматриваемых почвах наблюдается вынос микроэлементов из гумусового слоя и их аккумуляция в иллювиальном горизонте. Иллювиальный горизонт в этих почвах находится выше, чем в песчаных и супесчаных почвах. Это является одним из существенных отличительных признаков дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава.

Второй характерной особенностью распределения микроэлементов по профилю суглинистых почв является хорошо прослеживаемая биогенная аккумуляция как валового количества, так и содержания подвижных форм большинства микроэлементов. Она отсутствует лишь у валового цинка, подвижной меди, а также подвижного марганца в легкосуглинистых почвах.

В профиле суглинистых почв наблюдаются два максимума в содержании как валовых, так и подвижных форм микроэлементов — в гумусовом горизонте Ап и в иллювиальном В, а у подвижного цинка, марганца и молибдена в среднесуглинистых почвах — третий максимум в подстилающей породе, что связано с особенностями минералогического состава пород и концентрации в них микроэлементов. По сравнению с песчаными и супесчаными почвами запас валового количества бора, меди, марганца, кобальта и цинка в профиле суглинистых почв в 1,2—1,7 раза выше, а подвижных форм — в 1,3—2 раза. Существенные различия характерны для запаса бора, меди и кобальта, а также валового цинка и подвижного марганца. По запасам молибдена в почвах с разным содержанием физической глины существенных различий не установлено. В песчаных и супесчаных почвах валовой запас данного элемента в 1,2 раза выше, чем в суглинистых почвах, что связано, с одной стороны, с различием данных почв по минералогическому составу, а также лучшей окультуренностью легких почв. Общий запас микроэлементов в среднесуглинистых почвах в 1,2—1,4 раза, а подвижных форм — в 1,1—1,3 раза выше, чем в легкосуглинистых.

Запас как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в отдельных генетических горизонтах зависит от гранулометрического состава. В пахотном слое песчаных и супесчаных почв сосредоточено от 18 до 21% запаса валовых форм микроэлементов и 17—28% их подвижных форм, в суглинистых почвах этот показатель колеблется от 13 до 18%. В горизонте вымывания песчаных почв обнаруживается 14—17% валового количества и 9—20% подвижных форм микроэлементов, в суглинистых почвах их запас в данном горизонте составляет соответственно 41—60 и 35—59% от общего запаса микроэлемен-

тов в профиле. Данная закономерность является одним из характерных отличительных признаков микроэлементного состава профилей дерново-подзолистых суглинистых почв.

Подвижность бора, меди, марганца и молибдена в суглинистых почвах выше, чем в песчаных и супесчаных. Процент подвижного бора от его валового содержания в суглинистых почвах колеблется от 2,7 до 4,5 и в среднем составляет 3,8%, меди — соответственно от 30,2 до 40,8 и 33,8, марганца — от 20 до 39 и 25,4, молибдена — от 4,4 до 20,5 и 9,9%. По величине процентного отношения подвижных форм кобальта и цинка к их валовому содержанию дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава мало различаются между собой. По величине этого отношения микроэлементов в дерново-подзолистых почвах их можно расположить в следующий убывающий ряд: $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Mo} > \text{Co} > \text{B} > \text{Zn}$. В целом в рассматриваемых почвах бор и цинк следует условно отнести к элементам с очень низкой величиной процентного отношения подвижных форм к валовым (до 5%), молибден и кобальт — к низкой (до 10%), марганец — к средней (15—25%) и медь — к повышенной (больше 25%).

Сведения о величинах коэффициентов накопления количественно характеризуют процессы миграции микроэлементов по почвенному профилю и их трансформации в отдельных генетических горизонтах. В дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах величины коэффициентов накопления микроэлементов зависят от гранулометрического состава почвообразующих пород. Это связано с более высокой концентрацией как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в тяжелых породах по сравнению с легкими. Эти показатели в легкосуглинистых почвах по валовому бору, меди, цинку в 1,1—1,3 раза, а по подвижным формам меди, бора и марганца — в 1,1—1,5 раза выше, чем в песчаных и супесчаных. В среднесуглинистых почвах коэффициенты накопления валового бора, меди, кобальта и цинка в 1,3—1,6 раза, а подвижного бора, меди, марганца, кобальта и цинка — в 1,2—1,8 раза выше. Это свидетельствует о более интенсивном накоплении большинства как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в профилях почв более тяжелого гранулометрического состава по сравнению с легкими почвами.

Характерной особенностью суглинистых почв по сравнению с песчаными и супесчаными является более низкие значения коэффициентов накопления в профиле молибдена и валового марганца.

Общей закономерностью в суглинистых почвах, как и в песчаных, является максимальная величина коэффициентов накопления микроэлементов в иллювиальном горизонте, превышающая среднее значение коэффициентов в профиле в 1,1—1,5 раза. Однако величины коэффициентов накопления бора, меди и валового цинка в ил-

ллювиальном горизонте суглинистых почв выше, а марганца, молибдена, кобальта и подвижного цинка — ниже по сравнению с их значениями для песчаных и супесчаных почв.

Величины коэффициентов накопления показывают на неодинаковую способность отдельных элементов концентрироваться в генетических горизонтах почвенного профиля. В легко- и среднесуглинистых почвах наиболее высокие значения коэффициентов характерны для кобальта, валовых форм бора и цинка, а также для подвижных форм меди и марганца, что обусловлено более высокой динамичностью данных элементов и их активной способностью трансформироваться в генетических горизонтах почв. В целом по способности к накоплению в почвенном профиле по отношению к почвообразующей породе валовые формы микроэлементов можно распределить в следующий убывающий ряд: $\text{Co} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Mo}$, а подвижные — $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{B} > \text{Mo} > \text{Zn}$.

Приведенные ряды являются условными, т. к. расположение в них элементов может в той или иной степени меняться в зависимости от характера почвообразующей породы и концентрации в ней микроэлементов. В почвах, сформировавшихся на суглинистых и супесчаных породах, наблюдается меньшее накопление кобальта и валового марганца с одновременным усилением активности сорбции подвижных форм бора, меди и марганца. Аналогичная закономерность наблюдалась в песчаных и супесчаных почвах.

Общей отличительной закономерностью легко- и среднесуглинистых почв является слабая способность к накоплению молибдена, валового марганца и подвижного цинка, а также обогащение генетических горизонтов по сравнению с почвообразующей породой валовым бором и цинком, подвижной медью и марганцем, а в почвах на песчаных породах — валовым и подвижным кобальтом.

Рассчитанные коэффициенты иллювиальности микроэлементов в дерново-подзолистых суглинистых почвах имеют более низкие значения по сравнению с песчаными и супесчаными почвами. Для валового бора они колебались в пределах 1,44—1,45; меди — 1,21—1,33; марганца — 1,30—1,31; молибдена — 1,03—1,29; кобальта — 1,06—1,20 и цинка — 1,18—1,66. По способности к вымыванию из гумусовых горизонтов в иллювиальный валовые формы микроэлементов в легкосуглинистых почвах располагаются в убывающем ряду: $\text{Zn} > \text{B} > \text{Cu} = \text{Mn} > \text{Co} > \text{Mo}$, а в среднесуглинистых — $\text{B} > \text{Mn} = \text{Mo} > \text{Cu} = \text{Co} > \text{Zn}$, что свидетельствует о достаточно высоком выносе из пахотного слоя бора и марганца и значительном закреплении в нем кобальта и молибдена.

Величины коэффициентов иллювиальности подвижности форм микроэлементов в суглинистых почвах для бора составляли 1,20—

1,34; меди — 1,29—1,38; марганца — 1,23—1,35; молибдена — 0,89—0,92; кобальта — 1,27—1,44; цинка — 1,30—1,38. Убывающий ряд по способности к вымыванию подвижных микроэлементов из гумусового горизонта легкосуглинистых почв имеет вид: $\text{Co} > \text{Cu} = \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Mo}$, а среднесуглинистых — $\text{B} > \text{Cu} = \text{Zn} > \text{Co} > \text{Mn} > \text{Mo}$. Представленные ряды имеют сходные черты интенсивности выноса из гумусового горизонта меди и цинка и закрепления в последнем марганца и молибдена. По сравнению с песчаными и супесчаными почвами здесь имеет место слабое вымывание марганца и более значительный вынос цинка из пахотного слоя.

О более энергичной биогенной аккумуляции микроэлементов в гумусовом горизонте суглинистых почв по сравнению с песчаными и супесчаными свидетельствуют повышенные значения коэффициентов биологического накопления.

Как в песчаных и супесчаных, так и в суглинистых почвах наблюдается определенная зависимость уровней накопления как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в гумусовом горизонте от характера почвообразующих пород. Более высокие величины коэффициентов биологического накопления характерны для почв, сформировавшихся на породах легкого состава, что определяется, как правило, более низкой концентрацией микроэлементов в последних по сравнению с породами более тяжелого состава.

По величинам коэффициентов биологического накопления валового содержания микроэлементов в суглинистых почвах изучаемые элементы располагаются в убывающем ряду: $\text{Co} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn} > \text{Mo}$, который сходен со своим аналогом в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах и отличается от последнего лишь взаимным расположением марганца и меди. Это свидетельствует о сходстве процессов биогенного закрепления валовых форм микроэлементов в дерново-подзолистых почвах.

По способности к биогенной аккумуляции подвижных форм микроэлементов в суглинистых почвах данные элементы располагаются в следующий ряд: $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{B} > \text{Mo} > \text{Zn}$. В отличие от песчаных и супесчаных почв в суглинистых почвах наблюдается более активная биогенная аккумуляция микроэлементов и усиление закрепления их в гумусовом горизонте, что связано с более высоким содержанием физической глины и гумуса в данных почвах.

Как в песчаных, так и в суглинистых почвах отмечается более высокое биогенное накопление валового бора и цинка по сравнению с их подвижными формами. Наоборот, подвижные формы меди, марганца и молибдена концентрируются в гумусовом горизонте в большей степени, чем их валовые формы. Отличительной особенностью суглинистых почв является также высокая биогенная аккумуля-

ляция валового кобальта и более слабое закрепление его подвижных форм в гумусовом горизонте по сравнению с песчаными и супесчаными почвами.

Общей закономерностью для дерново-подзолистых почв является возрастание уровней биогенной аккумуляции как валового содержания, так и подвижных форм бора, меди, марганца, кобальта и цинка при увеличении процента физической глины и гумуса, а также уменьшение аккумуляции молибдена. Подобная закономерность установлена Свирновским Л. Я. (1974), Зыриным Н. Г., Малининой М. С. (1977).

Специфической особенностью микроэлементного состава дерново-подзолистых суглинистых почв является более высокая концентрация как валовых, так и подвижных форм элементов в генетических горизонтах по сравнению с песчаными и супесчаными почвами.

Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые почвы. Формирование микроэлементного состава дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и глинистых почв происходило в специфических условиях, определяющими из которых были длительное переувлажнение почв, повышенное содержание, по сравнению с суглинистыми и песчаными почвами, частиц физической глины, коллоидной фракции и гумуса. Эти факторы обусловили значительное закрепление и накопление микроэлементов в верхней части профиля, а промывной водный режим почв способствовал их выносу из почвенной толщи.

Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые почвы сильно распаханы и интенсивно используются в сельском хозяйстве области, что также оказывает значительное влияние на содержание и распределение в них микроэлементов. Хозяйственная деятельность человека, интенсивная мелиорация этих почв, внесение органических и минеральных удобрений обусловили улучшение водно-воздушного режима и условий роста и развития растений, более энергичное вовлечение химических элементов в биологический круговорот, повысили интенсивность процессов миграции микроэлементов в различные слои почвы.

В содержании и распределении микроэлементов по профилю этих почв проявляется определенная закономерность (табл. 41). В отличие от легких почв во всех генетических горизонтах отмечается повышенное содержание как валовых, так и подвижных форм микроэлементов. Содержание валовой меди превышает ее количество в легких почвах в 2,4—3 раза, марганца — 1,5—3; бора — 1,3—2,4; кобальта — 1,7—1,8; цинка — 1,4—1,6 и молибдена — 0,9—1,2 раза. По содержанию подвижных форм микроэлементов здесь наблюдаются меньшие раз-

Таблица 41

**Содержание микроэлементов в профиле дерново-подзолистой
тяжелосуглинистой почвы, мг/кг, п=23**

Горизонт, глубина, см	Формы элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Ап, 0-26	вал.	17,3	22,4	296,5	0,86	19,4	76,0
	подв.	0,62	5,1	93,6	0,08	1,03	0,58
AB, 26-37	вал.	19,6	23,8	310,3	0,87	20,5	80,5
	подв.	0,65	5,6	103,0	0,07	1,07	0,62
B, 37-95	вал.	18,9	22,2	292,5	0,52	18,1	77,7
	подв.	0,33	5,0	50,0	0,05	0,64	0,53
BC, 85-108	вал.	16,6	20,4	290,5	0,40	14,1	74,0
	подв.	0,26	4,2	41,0	0,05	0,74	0,40
C, 108-120	вал.	16,1	18,5	318,1	1,07	13,1	48,6
	подв.	0,48	2,7	58,0	0,06	0,87	2,52

личия, и для марганца они составляют 1,6—2,4 раза, меди — 1,8—1,9; цинка — 1,03—2,2; бора — 1,1—1,2; кобальта — 0,97—1,2 и молибдена — в 0,93—1,2 раза. Таким образом, для дерново-подзолистых почв наиболее вариабельными являются медь, марганец, валовой сбор и подвижный цинк, более стабильными — молибден и кобальт.

Для легких почв (песчаных и супесчаных) характерен высокий уровень колебаний валового содержания микроэлементов в отдельных генетических горизонтах, который у меди, кобальта и цинка изменяется в 1,6—1,8 раза, а у бора, марганца и молибдена — в 2,1—3,8 раза. Характерным и специфичным для данных почв является одновременно сравнительно низкий уровень изменения содержания подвижных форм микроэлементов, который у всех изучаемых элементов (за исключением кобальта и цинка) составляет 1,4—1,9 раза. Тяжелосуглистые и глинистые почвы характеризуются, наоборот, низким уровнем колебаний валового содержания (в 1,1—2,7 раза) и относительно высоким изменением концентрации подвижных форм микроэлементов. Содержание подвижных форм молибдена и кобальта в данных почвах изменяется в 1,6—2,2 раза; меди, бора и марганца — 2,1—2,5, а подвижного цинка в 6,3 раза. Для этих почв характерен высокий уровень колебаний концентрации бора, меди, валовых форм марганца и цинка при слабом изменении содержания подвижных форм цинка, кобальта, молибдена и марганца.

Анализ распределения микроэлементов по профилю показывает на специфические особенности их трансформации в отдельных генетических горизонтах. Общей закономерностью профильного распределения микроэлементов в данных почвах являются относительно высокая их биогенная аккумуляция в гумусовом горизонте, значительный вынос элементов в иллювиальный горизонт, который расположен непосредственно в подпахотном слое, обеднение микроэлементами нижней части профиля и почвообразующей породы. Исключения составляют валовой марганец, молибден и подвижный цинк, которые в значительных количествах концентрируются в почвообразующей породе. В последней также отмечается некоторое накопление подвижных форм бора, марганца, молибдена и кобальта, однако их количество в породе значительно ниже, чем в гумусовом горизонте, что также подтверждает сделанный ранее вывод о высокой биогенной аккумуляции микроэлементов в гумусовом горизонте тяжелых почв.

В верхней части профиля тяжелосуглинистых и глинистых почв между распределением микроэлементов и изменением содержания гумуса, гидролитической кислотности, суммы обменных оснований, а также концентрации подвижного фосфора и обменного калия прослеживается прямая связь, а с обменной кислотностью и степенью на-

сыщенности основаниями — обратная. Данная закономерность нарушается в глубоких слоях профиля вследствие более мощного влияния почвообразующей породы на подвижность и содержание микроэлементов.

Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые почвы отличаются от легких почв сравнительно высоким запасом микроэлементов в почвенном профиле. Так, в 120-сантиметровой их толще по сравнению с суглинистыми и песчаными почвами содержится в 1,7—3 раза больше валового бора, в 2,8—4,5 раза — меди, в 2,3—2,8 — марганца, в 1,1—1,3 — молибдена, в 1,8—3 — кобальта и в 1,6—2,6 раза — цинка. Менее высокие, но существенные различия наблюдаются и по запасам подвижных форм микроэлементов. Для бора они составляют 1,1—2 раза; меди — 1,8—3,5; марганца — 1,9—3,2; молибдена — 1,1—1,2; кобальта — 1,6 и цинка — 1,3—1,7 раза. Наиболее высокие различия в почвах наблюдаются по запасам меди, марганца, бора, валовых форм кобальта и цинка, что связано с более высокой миграционной способностью данных элементов, разной биофильностью, а также различием состава и свойств отдельных подтипов почв.

Для всех разновидностей дерново-подзолистых почв характерна высокая концентрация как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в гумусовом горизонте. В среднем в этом слое сконцентрировано 15—30% микроэлементов от их запаса в профиле. Однако природа закрепления и накопления микроэлементов в данном горизонте тяжелых почв иная по сравнению с песчаными почвами, она обусловлена сильным влиянием физической глины и органического вещества. Данный вывод подтверждается высокой дифференциацией профиля по запасам микроэлементов в отдельных генетических горизонтах.

Специфической особенностью их является и более низкий процент подвижных форм микроэлементов к валовым по сравнению с суглинистыми и песчаными почвами, свидетельствующий о высоком закреплении подвижных форм элементов в генетических горизонтах. Слабоподвижными элементами в рассматриваемых почвах являются цинк (1%), бор (2,3%), кобальт (4,4%), среднеподвижными — молибден (8,9%) и с хорошей подвижностью медь и марганец (21,7—21,2%).

Другой характерной особенностью тяжелых почв является неодинаковая подвижность микроэлементов в отдельных генетических горизонтах. Как правило, она более высокая в гумусовом и иллювиальном горизонтах и значительно снижается в нижних горизонтах профиля. Подобная закономерность менее выражена в суглинистых и песчаных почвах. Это также свидетельствует о сравнительно высокой аккумуляции подвижных форм микроэлементов в верхней части профиля тяжелосуглинистых и глинистых почв.

О высоком уровне аккумуляции микроэлементов в генетических горизонтах тяжелосуглинистых и глинистых почв по сравнению с почвообразующей породой свидетельствуют величины коэффициентов накопления. Более низкие значения данных коэффициентов имеют место в почвах, сформировавшихся на водно-ледниковых глинах, по сравнению с почвами на суглинках. Это показывает на прямую связь между содержанием микроэлементов в почвах и почвообразующих породах, а также на значительное влияние последних на уровень накопления элементов в отдельных генетических горизонтах.

Относительно высокие величины коэффициентов накопления микроэлементов в тяжелосуглинистых и глинистых почвах по сравнению с суглинистыми и песчаными почвами свидетельствуют о меньшем их выщелачивании из профилей данных почв. Этот вывод подтверждает и закономерное уменьшение значений коэффициентов накопления сверху вниз по профилю (максимум — в иллювиальном горизонте).

Высокие величины коэффициентов накопления микроэлементов в гумусовом горизонте показывают на их биогенную аккумуляцию. Однако в рассматриваемых почвах сильно выражен иллювиальный процесс, приводящий к значительному закреплению микроэлементов в верхней части почвенного профиля.

Специфической особенностью микроэлементов состава профилей тяжелосуглинистых и глинистых почв является концентрация элементов в верхней части профиля, обусловленная действием двух факторов — биогенной аккумуляцией и иллювиальным процессом. Значительное влияние на количественную сторону данного явления оказывает также почвообразующая порода.

Разные элементы имеют неодинаковую способность к миграции и накоплению в профиле. Склонность к высокому накоплению в тяжелых почвах имеют медь, бор, валовой цинк и подвижный марганец. Данные элементы значительно аккумулируются и в иллювиальном горизонте. К элементам с низкой аккумуляцией относятся молибден, валовой марганец и подвижный кобальт. В целом по способности к накоплению в профиле валовых форм микроэлементы располагаются в такой последовательности к убыванию: $B > Cu > Z > Co > Mn > Mo$, а подвижных: $Cu > Mn > B > Co > Mo > Zn$. Разная способность к накоплению определяется свойствами отдельных химических элементов, особенностями их миграционной активности, а также свойствами генетических горизонтов, составом и количеством в них органического вещества, физической глины и др.

Коэффициенты иллювиальности микроэлементов в дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и глинистых почвах имеют сравнитель-

но низкие значения и колеблются в небольших пределах. Для валовых форм они составляют 1,01—1,13, а подвижных 0,88—1,1. У валового бора иллювиальный коэффициент равен 1,13; меди, кобальта и цинка — 1,06; марганца — 1,05; молибдена — 1,01. По величинам данного коэффициента валовые формы микроэлементов можно расположить в следующий убывающий ряд: $B > Cu = Co = Zn > Mn > Mo$, который позволяет судить о сравнительной активности выноса отдельных элементов из гумусового горизонта.

Коэффициенты иллювиальности подвижных форм микроэлементов имеют более низкие значения, чем валовых. Они изменяются в пределах от 0,88 у молибдена, до 1,1 у меди. Убывающий ряд по величинам данного коэффициента у подвижных форм микроэлементов будет иметь следующий вид: $Cu = Mn > Zn > B > Co > Mo$.

Низкие значения коэффициентов иллювиальности как валового содержания, так и количества подвижных форм микроэлементов при ярко выраженном иллювиальном процессе и сравнительно высоком их содержании как в иллювиальном, так и в гумусовом горизонте свидетельствуют о высокой степени аккумуляции элементов в верхней части профиля тяжелосуглинистых и глинистых почв, что является одной из главных специфических особенностей профильного распределения микроэлементов в данных почвах.

Сравнение величин коэффициентов иллювиальности микроэлементов в дерново-подзолистых почвах показывает, что с увеличением содержания физической глины значения коэффициентов убывают, что связано с более высокой биогенной аккумуляцией элементов в гумусовом горизонте тяжелых почв по сравнению с легкими, а также более сильным их закреплением и менее интенсивным выщелачиванием.

О высокой биогенной аккумуляции микроэлементов в тяжелосуглинистых и глинистых почвах свидетельствуют также величины коэффициентов биогенной аккумуляции. Уровень биогенной аккумуляции для отдельных микроэлементов неодинаковый и зависит от свойств данных элементов, а также от характера почвообразующей породы и концентрации в ней микроэлементов.

Общей закономерностью для дерново-подзолистых почв является более низкие величины коэффициентов биологического накопления микроэлементов в гумусовом горизонте почв, сформировавшихся на более тяжелых породах, по сравнению с легкими, что связано с более высокой концентрацией элементов в почвообразующих тяжелых породах.

Высокая способность к биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте тяжелосуглинистых и глинистых почв характерна для меди, бора, валового цинка и подвижного марганца. Слабо аккумулируются мо-

либден, валовой марганец и подвижный цинк. В целом по способности к биогенной аккумуляции валовые формы микроэлементов образуют убывающий ряд: $Cu > B > Zn > Co > Mn > Mo$, а подвижные — $Co > Mn > B > Mo > Cu > Zn$.

Сравнение величин коэффициентов биологического накопления микроэлементов в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв, сформировавшихся на различных почвообразующих породах, позволило выделить некоторые их специфические особенности. К ним относится различная степень аккумуляции в гумусовом горизонте как валовых, так и подвижных форм микроэлементов, причем в тяжелых почвах она более интенсивна по сравнению с легкими почвами. Второй отличительной особенностью дерново-подзолистых тяжелых почв является более высокое залегание иллювиального горизонта в почвенном профиле (как правило, непосредственно под гумусо-аккумулятивным горизонтом) и значительная концентрация в нем микроэлементов. Поэтому в этих почвах верхняя часть профиля более богата микроэлементами, чем в легких почвах. Сравнительно высокое содержание гумуса и физической глины в дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и глинистых почвах усиливает процесс закрепления микроэлементов в гумусовом горизонте.

Дерновые глеевые и глееватые почвы. Особенности условий формирования и развития дерновых почв, связанных с участием, главным образом, двух процессов — дернового, приводящего к накоплению в верхней части профиля значительного количества органических веществ вследствие бурного роста травянистой растительности, и подзолообразовательного, ведущего к энергичной минерализации гумуса и интенсивной миграции органических и минеральных веществ по профилю, определяют специфику микроэлементного состава этих почв (табл. 42).

Характерным для профилей дерновых почв является концентрация как валового содержания, так и подвижных форм микроэлементов в гумусовом горизонте, что связано с ярко выраженным дерновым процессом, приводящим к образованию мощного гумусового горизонта. По абсолютному содержанию микроэлементов в гумусовом горизонте дерновые почвы близки к дерново-подзолистым почвам тяжелого гранулометрического состава и отличаются от последних более высоким количеством валового молибдена и подвижного цинка, что связано с действием карбонатов на подвижность данных элементов.

Второй характерной особенностью профильного распределения микроэлементов в дерновых почвах является вынос элементов из верхнего, гумусового горизонта в иллювиальный, который, как правило, находится в верхней части профиля, непосредственно под гуму-

Содержание микроэлементов в профиле дерновой глеевой почвы, мг/кг, n=29

Горизонт, глубина, см	Формы элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Ап, 0-28	вал.	12,3	14,3	318	1,3	6,1	41,7
	подв.	0,66	4,5	82,6	0,050	0,76	1,3
АВ, 28-41	вал.	16,4	14,9	481	1,4	9,1	52,9
	подв.	0,78	5,8	107	0,049	0,94	1,6
В, 41-79	вал.	9,3	9,6	407	1,2	4,9	32,9
	подв.	0,53	9,1	71,1	0,047	0,86	0,96
ВС, 79-91	вал.	6,6	8,5	271	1,00	2,1	27,5
	подв.	0,42	1,8	67,6	0,040	0,51	0,70
С, 91-120	вал.	10,5	10,7	295	0,50	5,0	39,2
	подв.	0,36	0,71	31,9	0,050	0,92	0,40

совым горизонтом. Подобная закономерность прослеживается в дерново-подзолистых почвах, однако в дерновых почвах иллювиальные процессы выражены более ярко.

Специфической закономерностью является также уменьшение содержания подвижных форм большинства микроэлементов и увеличение их валового количества в нижней части профиля, что определяется сильным влиянием карбонатов на подвижность элементов, а также утяжелением гранулометрического состава нижних горизонтов.

Распределение микроэлементов по профилю дерновых почв коррелирует с изменением содержания гумуса, фосфора и калия, величиной гидролитической кислотности и суммой поглощенных оснований. Обратная зависимость проявляется между изменением содержания микроэлементов в отдельных генетических горизонтах и величиной обменной кислотности, а также степенью насыщенности почв основаниями. Подобная закономерность кривых изменения содержания микроэлементов и основных агрохимических показателей отмечалась и в дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах.

Как по содержанию валовых и подвижных форм микроэлементов, так и по закономерностям их распределения по профилю дерновые почвы приближаются к дерново-подзолистым тяжелосуглинистым. Однако природа формирования профильного микроэлементного состава рассматриваемых почв разная. В дерново-подзолистой почве микроэлементный состав профиля формируется под влиянием в основном двух процессов — дернового и подзолистого, причем степень выраженности того или иного процесса определяет уровень накопления или выноса микроэлементов из отдельных генетических горизонтов.

В дерновых почвах доминирующее влияние на содержание и распределение микроэлементов по профилю оказывает дерновый процесс, приводящий к концентрации элементов в гумусово-аккумулятивном горизонте. Данный процесс усиливается под влиянием густой травянистой растительности и мощной дернины.

На содержание и распределение микроэлементов в профиле дерновой почвы оказывает влияние водный режим и карбонатность. Эти процессы находят свое проявление в усилении миграции микроэлементов по почвенному профилю и в преимущественной концентрации элементов в верхней его части.

Дерновые почвы отличаются от дерново-подзолистых по запасам микроэлементов в профиле. По сравнению со средневзвешенными величинами их запасов в толще (120 см) дерново-подзолистых почв, дерновые почвы содержат в 1,5 раза больше марганца, валового молибдена, подвижных форм бора и цинка, а также отличаются более

низким запасом общего кобальта, цинка и подвижного молибдена. По запасам меди, валового бора и подвижного кобальта рассматриваемые почвы сходны.

Однако по сравнению с дерново-подзолистыми почвами тяжелого гранулометрического состава дерновые почвы отличаются более низкими или сравнимыми величинами запаса как валового содержания, так и количества подвижных форм микроэлементов.

Подобные закономерности в количестве и распределении микроэлементов в данных почвах связаны, с одной стороны, с разным количеством физической глины и гумуса, а также объемной массы отдельных генетических горизонтов, с другой — особенностями свойств разных химических элементов, их подвижностью и миграционной способностью в зависимости от специфики почвенных условий.

Специфической особенностью дерновых почв является более высокое процентное содержание микроэлементов в гумусовом и подпахотном (иллювиальном) горизонтах, а также в почвообразующей породе от общего их запаса в профиле, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Так, в гумусовом горизонте данных почв содержится от 20 до 35%, а в иллювиальном — от 10 до 20% от общего запаса микроэлементов в профиле, т. е. в верхних его горизонтах сконцентрировано от 30 до 50% микроэлементов.

О значительной дифференциации профилей дерновых почв, сформировавшихся на разных почвообразующих породах, свидетельствуют величины и закономерности вертикального распределения коэффициентов накопления. Сравнительно высокие значения этих коэффициентов характерны для профилей почв, сформировавшихся на моренных карбонатных и водно-ледниковых суглинках, значительно ниже — на озерно-ледниковых безвалунных глинах.

По сравнению со средними величинами коэффициентов почвенной дифференциации валовых и подвижных форм микроэлементов в дерново-подзолистых почвах в дерновых они ниже для большинства элементов, что свидетельствует о более интенсивных процессах миграции и перетрансформации элементов в последних. Характер накопления подвижных форм микроэлементов в генетических горизонтах дерновых и дерново-подзолистых почв имеет сходные черты, характеризующиеся относительно высокой концентрацией меди и марганца и низкой — молибдена и цинка. В целом подвижные формы микроэлементов по способности к накоплению в генетических горизонтах дерновых почв можно расположить в следующий убывающий ряд: $Cu > Mn > B > Co > Mo > Zn$.

Подобная закономерность нарушается в распределении валового содержания микроэлементов. В отличие от дерново-подзолистых почв, которым характерно более высокое накопление валового ко-

бальта, бора и низкое — меди, марганца, молибдена, в дерновых почвах имеет место большая аккумуляция меди, марганца и бора, что связано с более высокой биологической активностью данных почв.

Сходные черты наблюдаются и в закономерностях распределения микроэлементов по профилю дерновых и дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почв. Максимум накопления элементов характерен для иллювиального и гумусового горизонта. Однако в дерновых глеевых почвах имеет место значительное обеднение микроэлементами нижней части профиля, что связано с активным действием карбонатов на подвижность элементов, а также повышенной миграционной способностью ряда элементов в данных почвах.

Как в дерново-подзолистых, так и в дерновых глееватых почвах отношение коэффициентов накопления микроэлементов в иллювиальном горизонте к величинам среднего значения коэффициентов почвенной дифференциации в профиле больше единицы, что свидетельствует о более интенсивно идущих иллювиальных процессах по сравнению с накоплением микроэлементов в профиле. Однако в отличие от дерново-подзолистых почв в дерновых почвах вынос валовых форм микроэлементов в иллювиальный горизонт более энергичен, чем подвижных, что, несомненно, связано с более сильным закреплением последних в гумусово-аккумулятивном горизонте.

Об интенсивно идущих иллювиальных процессах в дерновых почвах свидетельствуют и значения коэффициентов иллювиальности. Для валовых форм микроэлементов они изменяются от 1,04 до 1,51, а элементы по величинам данных коэффициентов можно расположить в убывающем ряду: $Mn > Co > B > Zn > Mo > Cu$, который во многом сходен с аналогичным рядом для дерново-подзолистых почв. Отличие заключается в более интенсивном вымывании из гумусового горизонта дерновых почв валового марганца и кобальта.

Значения коэффициентов иллювиальности для подвижных форм микроэлементов в рассматриваемых почвах изменяется от 0,98 до 1,3, и убывающий ряд элементов имеет следующий вид: $Mn > Cu > Co > Zn > B > Mo$. Данный ряд по расположению элементов близок к аналогичному ряду, характерному для дерново-подзолистых почв.

Количественная сторона биогенной аккумуляции микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте дерновых почв отражена в величинах коэффициентов биологического накопления. Более высокие значения коэффициентов биогенной аккумуляции отмечены в почвах, сформировавшихся на карбонатных и водно-ледниковых суглинках, причем они более значительны для подвижных форм микроэлементов, по сравнению с валовым. Сравнительно высокие величины коэффициентов биологического накопления микроэлементов в дерно-

вых почвах, по сравнению с дерново-подзолистыми, свидетельствуют об их значительной аккумуляции в гумусовом горизонте, что связано здесь с повышенным содержанием органического вещества и закреплением им химических элементов.

По интенсивности биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте дерновых почв валовые формы микроэлементов образуют убывающий ряд: $V > Cu > Zn > Mn > Mo > Co$ и характеризуются высокой аккумуляцией меди и низкой — кобальта. Убывающий ряд биологического накопления подвижных форм микроэлементов имеет вид: $Cu > Mn > V > Mo = Co > Zn$ и во многом сходен с аналогичным рядом для дерново-подзолистых почв, что свидетельствует об идентичности процессов биогенного закрепления микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте разных типов почв.

В содержании и распределении микроэлементов по профилю дерновых и дерново-подзолистых почв, особенно тяжелого гранулометрического состава, наблюдается значительное сходство, выражающееся в их накоплении в верхней части профиля, преимущественно в гумусовом и иллювиальном горизонте. Однако повышенная гумусированность, близкая к нейтральной реакция среды во всем почвенном профиле, особенности водно-воздушного режима и другие свойства оказывают непосредственное воздействие на интенсивность биогенной аккумуляции и на распределение микроэлементов в целом по профилю. В этих почвах хорошо выражена дифференциация профиля по микроэлементному составу.

Аллювиальные почвы. Изучению содержания и распределения микроэлементов в пойменных аллювиальных почвах посвящены работы многих исследователей (Дубиковский Г. П., Алисеевич М. К., 1976; Лукашев К. И., Петухова Н. К., 1970; Добровольский В. Г., Левин Ф. И., 1981; Веригина К. В., Кораблева Л. И., 1974).

Однако у различных авторов нет единого мнения о закономерностях распределения микроэлементов по профилю аллювиальных почв. Некоторые исследователи (Иванов Г. Т. и др., 1973; Алисеевич М. К. и др., 1981, 1984) отмечают накопление марганца, меди и цинка в верхних горизонтах аллювиальных почв. На аккумуляцию бора в перегнойном горизонте указано в работе Свирновского Л. Я. (1973). Об отсутствии или слабо выраженной биогенной аккумуляции цинка и молибдена свидетельствуют работы Костикова Д. Н. (1975), Ильина В. Б. (1982). Свирновский Л. Я. (1973), Алисеевич М. К. и др. (1984) наблюдали некоторое увеличение содержания бора с глубиной в данных почвах.

В исследованиях Костикова Д. Н. (1970) установлено, что содержание цинка в пойменных почвах близко к количеству его в почвообразующей породе и уменьшается сверху вниз по профилю.

Полученные нами данные о содержании и распределении микроэлементов на примере 30 почвенных разрезов аллювиально-луговых почв в обобщенном виде представлены в таблице 43.

Характерной особенностью микроэлементного состава профилей аллювиальных почв является сравнительно высокое содержание как валового количества, так и подвижных форм микроэлементов в верхнем, гумусовом горизонте, что связано с их биогенной аккумуляцией. Однако природа формирования состава, в том числе и микроэлементного, этих почв имеет свои особенности. Поступление элементов из почвенно-грунтовых вод нарушает чисто биогенное распределение микроэлементов. В зависимости от степени гидрогенной аккумуляции и уровня грунтовых вод возможен самый разнообразный характер распределения микроэлементов: совпадение биогенного и гидрогенного распределения, преобладание той или другой формы аккумуляции на разных глубинах в почве. В горизонтах испарения капиллярных токов от грунтовых вод происходит выпадение микроэлементов и их накопление.

С другой стороны, несмотря на слоистое строение профиля аллювиальных почв, в них наблюдается общая закономерность в распределении микроэлементов, выражающаяся в уменьшении их количества сверху вниз с двумя максимумами — в гумусово-аккумулятивном и иллювиальном горизонтах. Здесь имеет место влияние иллювиального процесса, усиливающегося промывным водным режимом почв.

Одной из существенных особенностей распределения микроэлементов по профилю рассматриваемых почв является сравнительно высокая концентрация большинства валовых и подвижных форм элементов в погребенном торфе, что связано с вымыванием их из верхних горизонтов профиля, дополнительным поступлением с почвенно-грунтовыми водами и высоким содержанием органического вещества, участвующего в закреплении элементов.

Аллювиальные почвы отличаются от дерновых и дерново-подзолистых более высоким содержанием микроэлементов в профиле, и особенно в гумусовом горизонте, что также связано со специфическими условиями их формирования, геоморфологическими особенностями, гидрологическим режимом и др.

Распределение микроэлементов по профилю аллювиально-луговых почв коррелирует с изменением физической глины, гумуса, кислотностью, суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности основаниями. Тесная корреляция наблюдается также между изменением содержания подвижных и валовых форм микроэлементов по профилю данных почв. Аналогичные закономерности изменения содержания микроэлементов по профилю аллювиально-

Содержание микроэлементов в профиле аллювиальной почвы, мг/кг, n=30

Горизонт, глубина, см	Формы элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Ап, 0-23	вал.	12,1	16,8	286	1,3	6,7	57,7
	подв.	0,56	7,4	75,0	0,07	0,83	1,7
AB, 23-35	вал.	9,4	13,4	214	0,94	5,2	43,3
	подв.	0,39	4,0	58,4	0,06	0,70	1,2
B, 35-60	вал.	8,6	10,5	196	0,51	2,8	38,8
	подв.	0,33	3,1	41,3	0,06	0,66	0,68
B ₂ , 60-70	вал.	2,5	5,2	125	1,2	1,00	27,5
	подв.	0,22	1,8	21,9	0,04	0,51	0,29
BC, 70-90	вал.	15,1	12,5	201	0,98	2,9	53,4
	подв.	0,42	4,2	68,5	0,07	0,73	1,6
Ст, 90-120	вал.	9,3	25,2	333	1,2	3,6	36,3
	подв.	0,95	6,0	105	0,12	0,78	2,2

луговых почв отмечены в работах Антоновой Г. Г. и др. (1972); Вашкевич Л. Ф. (1973); Лупинович И. С., Дубиковского Г. П. (1973); Свирновского Л. Я. (1973); Рочева В. А., Мамаевой Л. К. (1975); Алисевич М. К. и др. (1981, 1984) и др.

Расчет запаса микроэлементов в профиле аллювиальной почвы, проведенный с учетом мощности генетических горизонтов, объемной массы и содержания в них изучаемых элементов, показывает, что как отдельные генетические горизонты, так и весь профиль по валовым и подвижным формам микроэлементов имеют более низкие показатели по сравнению с дерново-подзолистыми и дерновыми почвами. Эти различия по содержанию микроэлементов составляют соответственно 1,2—4,7 и 1,1—1,8 раза.

Определенная закономерность наблюдается в распределении запасов микроэлементов по генетическим горизонтам профиля аллювиальной почвы. Подобно дерновым почвам в гумусово-аккумулятивном горизонте аллювиальных почв сконцентрировано 20—30% микроэлементов от общего их запаса в профиле, а в подпахотном горизонте — 10—20%, что значительно выше по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Таким образом, как в дерновых, так и в аллювиальных почвах около 50% запаса как валовых, так и подвижных форм микроэлементов сконцентрировано в верхней части профиля.

В глубоких горизонтах профиля по сравнению с дерновыми и дерново-подзолистыми почвами имеет место более низкий запас микроэлементов. Причиной подобного распределения запаса микроэлементов в профиле аллювиальной почвы является ее слоистость, вызванная специфическими условиями почвообразования.

В целом подвижность микроэлементов в отдельных генетических горизонтах профиля аллювиальных почв несколько выше, по сравнению с дерново-подзолистыми почвами, что связано с большей обеспеченностью их органическими веществами и способностью микроэлементов мигрировать по почвенному профилю в составе органо-минеральных комплексов. Однако, в отличие от дерновых и дерново-подзолистых почв, подвижность микроэлементов по профилю аллювиальных почв изменяется неравномерно, что также обусловлено слоистостью профиля данных почв и значительным участием в их формировании аллювиальных процессов.

Данный вывод подтверждается и неравномерным изменением коэффициентов почвенной дифференциации по профилю аллювиальных почв. Величины их зависят от характера почвообразующих пород и содержания в них микроэлементов. Наибольшие значения коэффициентов накопления микроэлементов в генетичес-

ких горизонтах характерны для аллювиальных почв, сформировавшихся на супесчаных и суглинистых породах. Сравнительно низкие величины коэффициентов накопления бора, марганца, молибдена, валовой меди и подвижного цинка, а также высокие — кобальта, подвижной меди и валового цинка характерны для генетических горизонтов почв на погребенном торфе, что связано с особенностями торфяной залежи и свойством отдельных микроэлементов. В целом генетические горизонты почв на водно-ледниковых глинах обеднены микроэлементами по сравнению с породой.

По способности к накоплению в генетических горизонтах аллювиальных почв валовые формы микроэлементов располагаются в следующий ряд: $Zn > B > Co > Mn > Cu > Mo$, а подвижные — $Cu > Mn > Co > Mo > B > Zn$. Данные почвы характеризуются сравнительно высоким накоплением кобальта, валовых форм цинка и бора, а также подвижной формой меди и марганца. Бор в почвах с высоким содержанием органического вещества образует легкоподвижные органо-борные комплексы и легко вымывается из почвы. Данный процесс усиливается спецификой гидрологии этих почв, характеризующейся повышенной влажностью и промывным водным режимом.

Одной из характерных особенностей аллювиальных почв является слабая выраженность иллювиальных процессов. Коэффициент иллювиальности валового содержания и количества подвижных форм микроэлементов колеблется в пределах от 0,43 до 1,25. Данное обстоятельство косвенно свидетельствует о биогенной активности данных почв.

Величины коэффициентов иллювиальности показывают на неодинаковую способность к вымыванию отдельных микроэлементов из гумусово-аккумулятивного горизонта. Валовые формы микроэлементов по данному признаку располагаются в убывающем ряду: $B(1,25) > Zn(0,93) > Mo(0,75) > Cu(0,74) > Mn(0,70) > Co(0,43)$, подвижные — $Mo(1,00) > Zn(0,94) > Mn(0,91) > Co(0,88) > B(0,75) > Cu(0,57)$. Приведенные ряды показывают, что в аллювиальных почвах биофильные элементы, в первую очередь медь и марганец, наиболее слабо вымываются из гумусового горизонта.

Количественная сторона биогенной аккумуляции рассматриваемых почв отражена в величинах коэффициентов биологического накопления. Значения данных коэффициентов для отдельных микроэлементов колеблются в широких пределах и зависят от характера почвообразующей породы и содержания в ней данных элементов. Сравнительно слабое биогенное накопление микроэлементов наблюдается в гумусовом горизонте аллювиальных почв, сформировавшихся на тяжелых породах. Однако по сравнению с дерново-подзолистыми и дерновыми почвами на аналогичных породах в ал-

ллювиальных почвах коэффициенты биогенной аккумуляции имеют более высокие значения. Сравнительно высокая биогенная аккумуляция кобальта, валового цинка и подвижной меди отмечена в почвах на погребенном торфе.

В почвах, сформировавшихся на разных почвообразующих породах, имеют место различия в биогенной аккумуляции отдельных микроэлементов. Они более существенны для валовых форм по сравнению с подвижными.

В целом по способности к биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте аллювиальных почв валовые формы микроэлементов располагаются в убывающем ряду: $Zn > Co > B > Mn > Cu > Mo$, подвижные — $Cu > Mn > Co > B > Zn > Mo$. Биогенная аккумуляция подвижных форм микроэлементов в дерново-подзолистых и дерновых почвах имеет сходный характер. Значительные различия наблюдаются в биогенной аккумуляции валового содержания микроэлементов, подчеркивая специфику микроэлементного состава профилей почв разного типа.

Осушаемые торфяные почвы образуют покров польдеров низкого уровня с отметками, близкими к уровню моря. Отличительным признаком данных почв является высокая зольность торфа и неравномерное ее изменение по профилю, что связано с активным участием аллювиальных процессов в их формировании. Характерными для них являются также сравнительно высокое содержание органического вещества, хорошая обеспеченность элементами питания, в частности подвижным фосфором и обменным калием, неравномерное изменение по профилю основных показателей агрохимических свойств почв, в том числе и содержания микроэлементов (табл. 44).

Осушаемые торфяные почвы по сравнению с дерново-подзолистыми и дерновыми характеризуются более высоким содержанием как валовых, так и подвижных форм микроэлементов. На формирование их микроэлементного состава существенное влияние оказывают биогенная аккумуляция микроэлементов, гидрогенные процессы, связанные с высоким уровнем стояния почвенно-грунтовых вод, а следовательно, с привносом элементов питания, в том числе микроэлементов. Важное значение здесь имеет и механическая аккумуляция элементов, вызванная периодическим затоплением данных почв и привносом значительного количества элементов с илистыми частицами.

О природе формирования микроэлементного состава торфяных почв свидетельствуют работы многих ученых (Лукашев К. И., Петухова Н. К., 1970; Бутузова О. В., Сергеева Ж. В., 1971; Дубиковский Г. П., 1976; Алисеевич М. К. и др., 1981).

Содержание микроэлементов в профиле осушаемой торфяной почвы, мг/кг, п=41

Горизонты, глубина, см	Форма элемента	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
A ₀ , 0-30	вал.	8,9	43,1	215	1,7	3,8	74,9
	подв.	1,2	6,4	68,4	0,06	1,1	1,1
T ^I , 30-70	вал.	5,0	20,1	150	1,8	2,9	18,9
	подв.	1,0	5,3	58,9	0,05	0,76	0,60
T ^{II} , 70-115	вал.	2,2	31,9	198	2,3	3,5	50,4
	подв.	0,91	3,7	56,7	0,03	0,76	0,40
115-135	вал.	3,1	15,9	176	1,4	3,1	8,6
	подв.	0,37	3,0	30,7	0,03	0,31	0,29
C, 135-169	вал.	5,0	5,8	170	1,5	2,8	32,7
	подв.	0,33	0,92	32,7	0,04	0,82	1,3

Некоторыми исследователями (Багинскас Б. П., 1971; Антонова Г. Г. и др., 1971; Анспок П. И., 1975; Дубиковский Г. П., Алисеевич М. К., 1976) установлено, что торфяные почвы средне- или высокообеспечены подвижными формами марганца, бора, меди и цинка. Другие авторы (Лупинович И. С., 1970; Павленко И. Ф., 1970) указывают на низкое содержание валовых форм микроэлементов, а также на слабую обеспеченность этих почв подвижными формами марганца, меди, кобальта и цинка.

Осушаемые торфяные почвы характеризуются высоким потенциальным плодородием и отличаются от минеральных почв более высоким содержанием микроэлементов. Аналогичная особенность торфяно-болотных почв отмечена в работах Лупинович И. С. (1970), Кулаковской Т. Н. и др. (1974), Лукашева К. И. (1981).

Сведения о содержании и закономерностях распределения микроэлементов в торфяных почвах широко представлены в работах ряда исследователей (Виноградов А. П., 1957; Дубиковский Г. П., 1970, 1972, 1983; Пейве Я. В., 1971, 1980; Крештапова В. Н., 1974; Головина Л. П., 1983; Алисеевич М. К. и др., 1984). Отмечается, что изменение содержания подвижных форм микроэлементов по профилю коррелирует с изменением зольности торфа, обменной и гидролитической кислотности, содержания органического вещества, а также количества валовых форм микроэлементов.

Микроэлементный состав осушаемых торфяных почв формируется в условиях переменных окислительно-восстановительных процессов. Горизонты, находящиеся выше уровня стояния почвенно-грунтовых вод, характеризуются преимущественно окислительными условиями. Более нижние горизонты характеризуются восстановительными условиями. Уровень грунтовых вод в этих почвах переменный, здесь имеет место периодическое переувлажнение почв весенним половодьем, летними, осенними и зимними паводками.

Приведенные специфические условия формирования осушаемых торфяных почв накладывают свой отпечаток на характер вертикального распределения микроэлементов в профиле данных почв. Отличительной особенностью для них является постепенное уменьшение содержания микроэлементов сверху вниз по профилю. Однако в горизонтах профиля, характеризующихся восстановленными условиями, наблюдается уменьшение подвижных форм микроэлементов с одновременным возрастанием их валового содержания. Здесь превалирующее влияние на содержание и поведение микроэлементов оказывает величина окислительно-восстановительного потенциала.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в верхней части профилей осушаемых торфяных почв польдеров, находящейся выше уровня стояния почвенно-грунтовых вод, имеет место корреля-

ционная связь между содержанием микроэлементов и агрохимическими свойствами. В зоне восстановленных условий данный характер связи не проявляется.

Более полное представление об обеспеченности осушаемых торфяных почв микроэлементами дают сведения об их запасе в профиле, которые показывают, что, несмотря на более высокое абсолютное содержание элементов в 1 мг/кг почвы, их запас сравнительно низкий. По сравнению с минеральными разновидностями почв осушаемые торфяные содержат в 3,6 раза меньше валового бора и кобальта, в 1,1 раза — меди, в 2,2 раза — марганца и цинка и отличаются более высоким запасом валового молибдена. Запас подвижных форм микроэлементов в этих почвах соответственно ниже по бору в 1,3 раза, меди — 1,9, марганца и молибдена — 2,2, кобальта и цинка — 1,7 раза.

Участие аллювиальных процессов в формировании этих почв обусловило неравномерность в распределении запасов микроэлементов по профилю осушаемых торфяных почв. В данных почвах наблюдается два максимума в содержании микроэлементов — в гумусово-аккумулятивном и глеевом горизонтах. Подобная закономерность в распределении микроэлементов в торфяных почвах отмечена в работах ряда авторов (Костиков Н. Д., 1970; Тонконоженко Е. В., 1970; Иванов Г. И. и др., 1973; Свирновский Л. Я., 1973; Гецевич Н. А., 1974; Алисеевич М. К. и др., 1984).

Характерной особенностью распределения микроэлементов в осушаемых торфяных почвах является сравнительно низкий их запас в гумусово-аккумулятивном горизонте от общего их запаса в профиле. По валовому содержанию элементов он составляет 10,4—26,5%, а подвижных — 12,7—23,2% и отличается значительным накоплением бора и меди.

Отдельные элементы в торфяных почвах имеют неодинаковую подвижность. Работами разных исследователей (Небольсин А. Н., 1969; Алисеевич М. К. и др., 1984) показано, что медь, цинк, марганец и кобальт хорошо аккумулируются в торфяных почвах. Подвижность микроэлементов в органогенных почвах выше, чем в минеральных породах. По данным этих авторов, процент подвижного марганца в торфяно-болотных почвах составляет 11,6—39%, цинка — 0,2—5,4%, молибдена — 2,4—21%, кобальта — 7—45% и меди 15—40% от их валового содержания.

Полученные нами данные свидетельствуют о значительных различиях в подвижности микроэлементов как в отдельных генетических горизонтах профиля осушаемых торфяных почв, так и в профиле в целом. Подвижность бора изменялась в пределах от 6,6 до 43,2%, меди — от 11,4 до 26,1, марганца — от 4,7 до 39,3, молибдена — от 0,8 до 4, кобальта — от 10 до 30,2 и цинка — от 0,8 до 3,9%. В целом по сравне-

нию с минеральными почвами в осушаемых торфяных почвах наблюдается более высокая подвижность бора и кобальта и низкая — меди и молибдена. Подобная закономерность связана с высоким содержанием органического вещества, неодинаковой способностью разных химических элементов образовывать органо-минеральные комплексы и разной подвижностью последних.

Коэффициент почвенной дифференциации также свидетельствует о специфических особенностях миграции и трансформации микроэлементов в профилях рассматриваемых почв. Как правило, эти коэффициенты имеют более существенные величины в почвах, сформировавшихся на легких почвообразующих породах по сравнению с тяжелыми.

Общей закономерностью для торфяных почв являются более высокая аккумуляция в гумусовом горизонте меди, валового молибдена и цинка, а также подвижных форм марганца и бора. Слабое накопление подвижного цинка связано с его низкой подвижностью в торфе, а молибдена — с незначительным общим содержанием этого элемента в торфяных почвах. В целом по способности к аккумуляции в генетических горизонтах профиля осушаемой торфяной почвы валовые формы микроэлементов располагаются в убывающем ряду: $\text{Cu} > \text{Mo} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{B}$, а подвижные — $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Co} > \text{Mo} > \text{Zn}$. По сравнению с минеральными разновидностями в органо-генных почвах величины коэффициентов почвенной дифференциации имеют более высокие значения, что свидетельствует о более интенсивно идущих процессах трансформации микроэлементов в данных почвах.

Специфической особенностью осушаемых торфяных почв является слабая выраженность иллювиальных процессов. Коэффициент иллювиальности валового содержания микроэлементов колеблется в пределах от 0,11 до 0,82, подвижных форм — 0,26 до 0,5. По указанному признаку данные почвы сходны с аллювиальными. Это свидетельствует о значительном сходстве процессов формирования микроэлементного состава осушаемых торфяных и иллювиальных почв. Сходство гидрологических условий, промывной водный режим, высокий уровень стояния почвенно-грунтовых вод, ярко выраженные аллювиальные процессы и обуславливают повышенное содержание микроэлементов в верхней части профилей данных почв, а высокое содержание органического вещества усиливает их биогенную аккумуляцию. Существенное влияние здесь оказывают также гидро-генная и механическая аккумуляция микроэлементов.

О сильной биогенной аккумуляции микроэлементов в пахотном слое осушаемых торфяных почв свидетельствуют высокие значения коэффициентов биологического накопления. Высокая биогенная ак-

кумуляция характерна для меди, валового цинка, подвижных форм бора, марганца и кобальта. По активности к биогенной аккумуляции в гумусовом горизонте осушаемых торфяных почв валовые формы микроэлементов образуют убывающий ряд: $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Mo} > \text{Co}$, подвижные — $\text{Cu} > \text{Mn} > \text{Co} > \text{B} > \text{Mo} > \text{Zn}$.

В гумусово-аккумулятивном горизонте осушаемых торфяных почв в 5 раз сильнее накапливается валовая медь, в 2,4 раза — молибден, в 2 раза — марганец и цинк, в 1,3 раза — бор, чем в минеральных почвах. Подобная закономерность характерна и для подвижных форм микроэлементов. Так, в них в 3,2—3,5 раза выше активность накопления меди, бора и кобальта, в 1,5—2,6 раза — марганца, цинка и молибдена.

В данных почвах, как и в целом в почвах области уровень биогенной аккумуляции подвижных и валовых форм микроэлементов зависит от почвообразующей породы, ее гранулометрического состава и содержания в ней данных элементов. Сравнительно высокая их аккумуляция имеет место в почвах, сформировавшихся на легких породах, характеризующихся низким уровнем содержания микроэлементов.

Микроэлементный состав почв определяется, в первую очередь, почвенным типом и условиями почвообразования. Формирование дерново-подзолистых почв определяется сочетанием двух противоположно направленных процессов — дернового и подзолистого. Результатом первого является аккумуляция органического вещества в верхней части почвенного профиля, что, в свою очередь, вызывает биогенную аккумуляцию микроэлементов. Поэтому самое высокое их содержание в профиле отмечается в перегнойном горизонте.

Подзолистый процесс приводит к разрушению многих минералов — носителей микроэлементов (оливина, роговой обманки, биотита и др.). Стойкие же против выветривания минералы (кварц, циркон, турмалин и др.) почти не содержат изучаемых элементов. Этим объясняется пониженное содержание микроэлементов в подзолистом и повышенное их содержание в иллювиальном горизонте по сравнению с перегнойным, особенно в суглинистых почвах. Профили таких почв, как правило, сильно дифференцированы по содержанию микроэлементов и другим агрохимическим признакам.

В дерновых почвах происходит постепенное накопление органического вещества в верхней части профиля, а вместе с тем и увеличение в нем количества элементов питания, в том числе и микроэлементов. В таких почвах профиль менее дифференцирован и иллювиальные процессы имеют слабое проявление.

В иллювиальных и осушаемых торфяных почвах на распределение микроэлементов по профилю, наряду с дерновым и подзоли-

стым процессами, большое влияние оказывают аллювиальный и болотный процессы. В зависимости от степени гидрогенной аккумуляции и уровня капиллярной каймы грунтовых вод возможны самый разнообразный характер распределения микроэлементов, совпадение биогенного и гидрогенного накопления, преобладание той или другой формы аккумуляции в разных генетических горизонтах.

Профили данных почв имеют слоистость, которая проявляется в неравномерном распределении микроэлементов по генетическим горизонтам. Иллювиальные процессы в таких почвах выражены слабо или вовсе отсутствуют. Сильное влияние на профильное распределение микроэлементов в данных почвах оказывают переменные окислительно-восстановительные условия.

4.2. Геохимические ассоциации накопления и рассеяния микроэлементов в почвах

На содержание и поведение микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте существенное влияние оказывает почвообразующая порода. Анализ концентраций элементов в системе почва — порода позволил выделить геохимические ассоциации накопления и рассеяния их в почвах, которые можно выразить в виде индексов для каждой почвенной разности.

Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые почвы, сформировавшиеся на водно-ледниковых безвалунных глинах, имеют индекс по валовому содержанию микроэлементов В, $\text{Cu} \frac{\text{Zn, Co}}{\text{Mn, Mo}}$, по количеству подвижных форм $\text{Co} \frac{\text{Cu, Mo, B, Mn}}{\text{Zn}}$. В данных почвах содержание валовых форм бора, меди и подвижного кобальта близко к их количеству в почвообразующей породе. Эти почвы обеднены валовым количеством марганца и молибдена, а также подвижным цинком и отличаются некоторым накоплением валового цинка, кобальта, подвижных форм меди, молибдена, бора и марганца.

Для дерновых почв на озерно-ледниковых безвалунных глинах характерен индекс по валовому содержанию микроэлементов $\text{Zn, Mn} \frac{\text{Mo}}{\text{Cu, B, Co}}$, по количеству подвижных форм — $\text{Mn, Mo, Co} \frac{\text{Cu, B}}{\text{Zn}}$. В данных почвах имеет место накопление в гумусовом горизонте валового молибдена, подвижных форм меди и бора, а также обеднение подвижным цинком, валовыми формами меди, бора и кобальта. Содержание марганца, валового цинка, подвижного молибдена и ко-

бальта в данных почвах близко к их количеству в почвообразующей породе.

У аллювиальных почв на водно-ледниковых глинах индекс по валовым формам микроэлементов имеет вид $\text{Cu}, \text{Mo} \frac{\text{Zn}}{\text{Mn}, \text{B}, \text{Co}}$, по подвижным — $\text{Mn}, \text{Co}, \frac{\text{Mo}, \text{Cu}, \text{B}}{\text{Zn}}$. Здесь, наряду с накоплением в гумусовом горизонте валового цинка, отмечено обеднение его подвижными формами данного элемента, а также концентрация подвижных форм меди и бора при низком уровне их валового количества. Валовое количество меди и молибдена, а также содержание подвижных форм марганца и кобальта в гумусовом горизонте данных почв близко к их количеству в почвообразующей породе. Характерной особенностью является обогащение данных почв подвижными формами меди и молибдена и обеднение валовыми формами кобальта и марганца.

Осушаемые торфяные почвы, залегающие на ледниковых иловатых глинах, по валовому содержанию микроэлементов имеют индекс $\frac{\text{Cu}, \text{Zn}, \text{Mo}}{\text{Mn}, \text{B}, \text{Co}}$, по количеству подвижных форм — $\text{Mn} \frac{\text{Cu}, \text{B}, \text{Mo}, \text{Co}}{\text{Zn}}$. Они характеризуются более высоким содержанием меди, молибдена, валового цинка, подвижных форм бора и кобальта в гумусовом горизонте по сравнению с почвообразующей породой, а также обеднением его подвижным цинком, валовыми формами марганца, бора и кобальта. Количество подвижного марганца в этих почвах близко к его содержанию в почвообразующей породе.

Закономерности распределения микроэлементов в системе почва — порода для разных типов почв, сформировавшихся на идентичных по гранулометрическому составу породах, имеют специфические особенности. Так, для почв, сформировавшихся на глинистых почвообразующих породах, характерно обеднение гумусового горизонта валовым кобальтом, бором, марганцем, а также подвижным цинком при одновременной аккумуляции в нем валового цинка и подвижных форм меди, бора, молибдена, марганца и кобальта. Для таких почв характерен комплекс специфических свойств — средний или тяжелый гранулометрический состав, сравнительно высокое содержание гумуса и насыщенность основаниями, обуславливающих накопление и закрепление в верхних горизонтах подвижных форм микроэлементов и значительную миграцию по профилю их валовых форм.

Дерново-подзолистые тяжело- и среднесуглинистые почвы, сформировавшиеся на моренных и водно-ледниковых суглинистых породах, имеют индекс по валовому содержанию микроэлементов

$\frac{B, Zn, Cu, Co}{Mn, Mo}$, а по количеству подвижных форм — $Mo \frac{Cu, Mn, B, Co}{Zn}$ и характеризуются концентрацией в гумусовом горизонте бора, кобальта, меди, валового цинка и подвижного марганца, а также накоплением в породе по сравнению с пахотным слоем валового молибдена, марганца и подвижного цинка. Количество подвижного марганца в этих почвах близко к его содержанию в почвообразующей породе. Эти почвы также характеризуются тяжелым гранулометрическим составом, значительной гумусированностью и высокой насыщенностью основаниями. Накопление большинства микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте этих почв является следствием их высокой биогенной аккумуляции.

В почвах более легких и с меньшим содержанием гумуса изменяются закономерности накопления отдельных элементов в системе почва — порода. Легкосуглинистые почвы на моренных и водно-ледниковых суглинках характеризуются индексом по валовому содержанию микроэлементов — $Co, Cu \frac{B, Zn}{Mn, Mo}$, а по количеству подвижных форм — $Mo, Co, Mn \frac{Cu, B}{Zn}$. Они отличаются меньшим накоплением в гумусовом горизонте кобальта, валовой меди и подвижного марганца. Однако и здесь прослеживаются сходные черты в распределении микроэлементов, особенно в верхних горизонтах, где наблюдается обеднение валовыми формами марганца, молибдена и подвижным цинком по сравнению с почвообразующими породами, а также сравнительно высокое содержание в гумусовом горизонте бора, валового цинка и подвижной меди.

Песчаные и супесчаные почвы, развившиеся на водно-ледниковых безвалунных суглинках, имеют индекс по валовому количеству микроэлементов $B \frac{Zn, Co, Cu, Mo, Mn}{Zn, Co, Cu, Mo, Mn}$, а по содержанию подвижных форм — $Co \frac{Cu, Mo}{B, Mn, Zn}$. Они характеризуются обеднением гумусового горизонта большинством микроэлементов, что связано с низкой их гумусированностью и малым содержанием частиц физической глины. Вместе с тем в таких почвах имеет место значительная миграция гумусовых веществ по профилю, а более тяжелый гранулометрический состав почвообразующих пород усиливает закрепление в них микроэлементов, выносимых из верхней части профиля.

В гумусово-аккумулятивном горизонте рассматриваемых почв по сравнению с почвообразующей породой отмечается некоторое накопление подвижной меди, связанное с биогенной активностью почв и подвижного молибдена, как следствие специфики мине-

рального состава песчаных почв. Содержание валового бора и подвижного кобальта в дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах на суглинистых почвообразующих породах близко к их количеству в последних.

Дерновые почвы на моренных карбонатных суглинках имеют индекс по валовому содержанию микроэлементов $\frac{\text{Cu, B, Zn, Mn}}{\text{Mo, Co}}$, а на водно-ледниковых суглинках — $\text{Zn, Mn } \frac{\text{B, Cu}}{\text{Mo, Co}}$. По количеству подвижных форм элементов данные почвы имеют индексы соответственно $\text{Co, Zn } \frac{\text{Cu, Mn, B}}{\text{Mo}}$ и $\text{Co } \frac{\text{Cu, Mn, B}}{\text{Mo, Zn}}$. Они характеризуются аккумуляцией в гумусовом горизонте меди, марганца и бора, что обусловлено развитием дернового процесса, характеризующегося накоплением органического вещества, энергичной его минерализацией и вовлечением химических элементов в биологический круговорот.

Второй особенностью распределения микроэлементов в системе почва — порода в дерновых почвах на суглинистых отложениях является более низкое содержание молибдена и валового кобальта в пахотном слое по сравнению с почвообразующей породой. Содержание цинка и подвижного кобальта в этих почвах близко к их количеству в почвообразующей породе.

В почвах на карбонатных породах имеет место значительная аккумуляция в верхних горизонтах цинка, связанная с амфотерным характером элемента и высокой насыщенностью основаниями данных почв. В почвах на некарбонатных суглинках более высокая концентрация цинка отмечена в почвообразующей породе. Верхние горизонты таких почв обеднены цинком, особенно его подвижными формами.

Аллювиальные и осушаемые торфяные почвы, сформировавшиеся на водно-ледниковых и моренных суглинках, имеют сходные индексы по валовому содержанию микроэлементов — $\text{Mn, Mo } \frac{\text{B, Cu, Zn}}{\text{Co}}$, характеризующие накопление в гумусовом горизонте по сравнению с породой бора, меди и цинка, а также более высокое содержание кобальта в суглинистой породе. Количество марганца и молибдена в данных почвах близко к их концентрации в почвообразующей породе. Сходство геохимических ассоциаций накопления и рассеяния валовых форм микроэлементов в системе почва — порода в иллювиальных и осушаемых торфяных почвах свидетельствует об идентичности процессов формирования их микроэлементного состава, главенствующее участие в которых принимают гидрогенная и механическая аккумуляция, аллювиальные процессы, биогенное закрепле-

ние элементов, усиливающееся за счет повышенного содержания органического вещества. Названные факторы обуславливают относительно высокое содержание большинства микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте данных почв по сравнению с почвообразующей породой.

Подобная закономерность нарушается в распределении подвижных форм микроэлементов. Аллювиальным почвам на водно-ледниковых суглинках характерен индекс $\text{Mo, Co, Zn} \frac{\text{Cu, Mn, B}}{\text{Zn}}$, осушаемым торфяным на моренных валунных суглинках — $\text{Mo} \frac{\text{Cu, B, Mn, Co}}{\text{Zn}} \cdot \text{B}$

рассматриваемых почвах сходные черты наблюдаются в распределении меди, бора, марганца, выраженные в их накоплении в гумусово-аккумулятивном горизонте, а также молибдена, количество которого в данных почвах близко к содержанию в почвообразующей породе. Различия наблюдаются в распределении кобальта и цинка. Так, в аллювиальных почвах содержание этих элементов в пахотном слое близко к их количеству в почвообразующей породе, а в осушаемых торфяных почвах наблюдается аккумуляция кобальта в гумусовом горизонте и концентрация цинка в породе.

Данные различия вызваны неодинаковыми условиями развития рассматриваемых почв. В аллювиальных почвах аллювиальные процессы способствуют обогащению верхних горизонтов химическими элементами за счет наносов, поступающих в периоды паводков. Высокое содержание органического вещества обуславливает биогенное закрепление микроэлементов. В осушаемых торфяных почвах при исправно работающей польдерной системе осушения механическая аккумуляция микроэлементов менее выражена. Однако при высоком стоянии почвенно-грунтовых вод имеют место процессы гидрогенного поступления элементов в пахотный слой и их биогенной аккумуляции за счет органического вещества торфа, а специфика окислительно-восстановительных условий оказывает влияние на подвижность микроэлементов и определяет характер их распределения в системе почва — порода.

Дерново-подзолистые почвы, развившиеся на моренных валунных супесях, имеют во многом сходные черты распределения как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в системе почва — порода. Так, легко- и среднесуглинистые почвы характеризуются индексом $\frac{\text{B, Zn, Co, Cu, Mn}}{\text{Mo}}$ по валовому содержанию микроэлементов и $\frac{\text{Cu, Mn, B, Mo, Co}}{\text{Zn}}$ по количеству подвижных форм. В этих почвах имеет место аккумуляция в гумусовом горизонте по сравнению с

породой большинства микроэлементов. В супесчаных породах отмечается лишь более высокое содержание валового молибдена и подвижного цинка.

Несколько иная закономерность распределения микроэлементов наблюдается в песчаных и супесчаных почвах на моренных валунных супесях. Они по валовому содержанию микроэлементов имеют индекс $\text{Cu, Mn, Co} \frac{\text{B, Zn}}{\text{Mo}}$, а по количеству подвижных форм $\text{B} \frac{\text{Cu, Mo, Mn, Co}}{\text{Zn}}$. В данных почвах, как и в почвах легко- и средне-суглинистых, наблюдается накопление в гумусово-аккумулятивном горизонте валового бора, цинка, подвижных форм меди, молибдена, марганца и кобальта, а также некоторая концентрация валового молибдена и подвижного цинка в почвообразующей породе. Однако в отличие от суглинистых почв, содержание валовых форм меди, марганца, кобальта и подвижного молибдена в песчаных и супесчаных почвах близко к их количеству в породе.

Данные различия в распределении микроэлементов связаны, главным образом, с разным содержанием физической глины и гумуса в данных почвах. В тяжелых почвах с относительно высоким содержанием гумуса по сравнению с песчаными и супесчаными наблюдается более высокая концентрация большинства микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте.

Уменьшение количества физической глины и гумуса в дерново-подзолистых почвах приводит к снижению уровня накопления микроэлементов в пахотном слое, что обусловило меньшую концентрацию валовых форм меди, марганца, кобальта и подвижного цинка в песчаных и супесчаных почвах.

Почвы, сформировавшиеся на песчаных почвообразующих породах, как правило, характеризуются более высоким содержанием микроэлементов в гумусово-аккумулятивном горизонте по сравнению с породой. Так, дерново-подзолистые песчаные, супесчаные легко- и среднесуглинистые почвы имеют индекс по валовому содержанию микроэлементов $\text{Mo} \frac{\text{Co, B, Zn, Mn, Cu}}{\text{Cu, Cu, Mn, Mo, B}}$, а по количеству подвижных форм — $\text{Zn} \frac{\text{Co, Cu, Mn, Mo, B}}{\text{Co, Mn, Mo, B, Zn, Cu}}$. Аллювиальные и осушаемые торфяные почвы, сформировавшиеся на озерно-ледниковых и древнеаллювиальных песках как по валовому содержанию, так и по количеству подвижных форм микроэлементов характеризуются индексом $\text{Co, Mn, Mo, B, Zn, Cu}$.

Подобное распределение микроэлементов в системе почва — порода, характерное для почв на песчаных породах, является следстви-

ем нескольких явлений. Во-первых, песчаные почвообразующие породы характеризуются очень низким содержанием как валовых, так и подвижных форм микроэлементов по сравнению с более тяжелыми породами. Во-вторых, относительно высокое содержание органического вещества, в том числе и в легких почвах, в той или иной степени способствует биогенной аккумуляции микроэлементов в гумусовом горизонте.

Однако в разных типах почв могут иметь место некоторые отклонения от общей закономерности распределения микроэлементов в системе почва — порода. Так, в дерново-подзолистых почвах содержание валового молибдена и подвижного цинка в гумусово-аккумулятивном горизонте близко к их количеству в почвообразующих породах. В аллювиальных и осушаемых торфяных почвах данная закономерность не проявляется. Это обусловлено природой почвообразования дерново-подзолистых и аллювиальных, а также осушаемых торфяных почв, их различием по минеральному и химическому составу.

Аллювиальные почвы, подстилаемые погребенным торфом, по валовому содержанию микроэлементов характеризуются индексом $Mn, Mo, \frac{Zn, Co, B}{Cu}$, а по количеству подвижных форм — $\frac{Cu, Co}{Zn, Mn, Mo, B}$. Они отличаются накоплением в гумусово-аккумулятивном горизонте кобальта, валовых форм цинка, бора и подвижной меди, а также концентрацией в погребенном торфе валовой меди, подвижных форм цинка, марганца, молибдена и бора. Количество валового марганца и молибдена в данных почвах близко к их содержанию в подстилающей породе.

Анализ геохимических ассоциаций накопления и рассеяния микроэлементов в системе почва — порода позволяет выделить на территории области четыре педогеохимические провинции, различающиеся составом макро- и микроэлементов в основных разновидностях и типах почв, характером миграции химических элементов и особенностями их распределения в почвах в территориальном отношении.

Северо-западная педогеохимическая провинция расположена на территории Земландского полуострова, Полесского, северной части Гурьевского, Гвардейского и большей части Багратионовского районов. Для данного региона характерны наиболее высокие концентрации кремнезема и сравнительно низкие — остальных макрокомпонентов. Эта провинция имеет геохимический индекс по валовому содержанию микроэлементов $B, Zn \frac{Co, Cu, Mo, Mn}{Cu, Co, Mo, Mn}$, а по количеству подвижных форм $B, Co, Mn, \frac{Mo, Cu}{Zn}$. Здесь почвы обеднены валовыми

формами кобальта, меди, молибдена, марганца и подвижным цинком. Повышенное содержание подвижного молибдена и меди в гумусово-аккумулятивном горизонте почв данной провинции является следствием хозяйственной деятельности человека и хорошей окультуренности почв. На концентрацию и рассеяние элементов в почвах этой провинции оказывает влияние преимущественно лито-геохимический состав пород.

Северо-восточная педогеохимическая провинция расположена на территории Неманского, Краснознаменского, Нестеровского, Озерского, юго-восточной части Гурьевского и северной части Черняховского районов. Это район распространения, главным образом, легко- и среднесуглинистых почв, характеризующихся более низким содержанием кремнезема и более высоким содержанием оксидов алюминия, железа, кальция, фосфора и калия по сравнению с почвами северо-западной провинции. Геохимический индекс данного региона по валовому содержанию микроэлементов $\text{Co, Cu} \frac{\text{B, Zn}}{\text{Mn, Mo}}$, по

количеству подвижных форм — $\text{Co} \frac{\text{Cu, B, Mn}}{\text{Mo, Zn}}$. Для почв данного региона характерно накопление в гумусово-аккумулятивном горизонте подвижных форм бора и цинка, подвижных форм меди и бора, а также концентрация в почвообразующих породах молибдена, валового марганца и подвижного цинка. На концентрацию и рассеяние элементов в почвах данной провинции в равной степени оказывают влияние два фактора — литогеохимический состав пород и биогенное накопление.

Центральная педогеохимическая провинция занимает территорию Правдинского, юго-западную часть Черняховского и южную часть Гвардейского районов. Почвы данной провинции характеризуются, как правило, тяжелым гранулометрическим составом, сравнительно низким содержанием кремнезема и более высоким содержанием других макрокомпонентов. По валовому содержанию микроэлементов почвы данной провинции имеют геохимический индекс $\text{Mn} \frac{\text{Co, B, Zn, Cu}}{\text{Mo}}$, по количеству подвижных форм $\frac{\text{Cu, Mn, B, Mo, Co}}{\text{Zn}}$.

Они характеризуются накоплением в гумусово-аккумулятивном горизонте большинства как валовых, так и подвижных форм микроэлементов, что является следствием их активной биогенной аккумуляции.

Особенности геологического строения и специфика почвообразующих процессов — факторы, позволившие выделить самостоятельную педогеохимическую провинцию на территории Неманской низменности.

Почвы здесь характеризуются большим накоплением органического вещества, имеют запас потенциального плодородия и отличаются сравнительно высоким содержанием макро-и микроэлементов. Для них и по валовому содержанию, и по количеству подвижных форм микроэлементов характерен геохимический индекс Cu, Zn, Mn, Mo, Co, B, свидетельствующий о высокой биогенной аккумуляции элементов в гумусовом горизонте.

5. Влияние уровня химизации земледелия на содержание и подвижность микроэлементов в почвах

Почва — это естественно-историческое природное образование, сформировавшееся при участии совокупности факторов, главными из которых являются почвообразующие породы и почвенно-грунтовые воды, климат, рельеф, растительные и животные организмы, хозяйственная деятельность человека.

На современном этапе развития общества хозяйственная деятельность человека выступает как важнейший фактор почвообразования. По масштабам своего влияния на миграцию химических элементов в биосфере она сравнима с природными геохимическими факторами (Ковда В. А., 1974; Важенин И. Г., 1981; Кулаковская Т. Н., 1984; Чумаченко И. Н., Андреев А. Т., 1984). Если влияние природных факторов на почву проявляется стихийно, то человек в процессе своей деятельности воздействует на почву целенаправленно, изменяет ее в соответствии со своими потребностями. С развитием производительных сил и ростом уровня химизации сельскохозяйственного производства использование и преобразование почвы усиливается.

Важнейшим фактором воздействия на почву в процессе сельскохозяйственной деятельности человека является внесение минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов. Растущие объемы применения агрохимикатов в земледелии всесторонне влияют на свойства почвы, преобразуют способность земель (Кулаковская Т. Н., 1973).

Как показали исследования ученых (Важенин И. Г., 1957; Гаркуша И. Ф., 1970; Джурко М. С., 1970; Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Санько П. М. и др., 1971; Белицына Г. Д., Дронова Н. Я., 1981), окультуренные почвы значительно отличаются от целинных и освоенных слабоокультуренных менее кислой реакцией среды, большей насыщенностью основаниями, более высоким

уровнем азотного, фосфорного и калийного питания для растений, а также по содержанию и запасам гумуса и его качественному составу. Многие авторы (Джурко М. С., 1970; Лупинович И. С., 1973; Стоянов Д. В., 1978, 1982, 1984; Тойка М. А. и др., 1980; Седлухо Н. Я., Цыганов А. О., 1983 и др.) отмечают большее накопление микроэлементов в окультуренных почвах по сравнению со слабоокультуренными.

С учетом почвенного бонитета, в основу которого положены основные параметры агрохимических свойств почв (гранулометрический состав, содержание гумуса, pH и другие), проведена оценка наиболее распространенных дерново-подзолистых почв Калининградской области, в результате которой выделены три группы почв по окультуренности. В каждой группе с использованием вариационно-статистических методов определены средние величины агрохимических показателей почв и содержание в них макро- и микроэлементов. Полученные данные положены в основу подразделения почв по окультуренности (табл. 45).

В группу слабоокультуренных вошли почвы преимущественно легкого гранулометрического состава, слабогумусированные, с кислой реакцией среды и слабой насыщенностью основаниями. Такие почвы низко- или среднеобеспечены бором и медью, среднеобеспечены марганцем и бедны по содержанию молибдена, кобальта и цинка.

Среднеокультуренные почвы представлены в основном средними и легкими суглинками и отличаются от слабоокультуренных почв более высокой гумусированностью, менее кислой реакцией среды и значительной насыщенностью основаниями. Они содержат больше фосфора, калия и микроэлементов. По содержанию бора, цинка и кобальта данные почвы среднеобеспечены, имеют низкую обеспеченность молибденом и высокообеспечены медью и марганцем.

Почвы с высокой окультуренностью, как правило, имеют относительно хороший запас гумуса, подвижного фосфора и обменного калия, а также слабокислую или близкую к нейтральной реакцию среды и отличаются большой насыщенностью основаниями. По содержанию микроэлементов такие почвы высокообеспечены медью и марганцем, средне- или высокообеспечены бором, кобальтом и цинком, а также характеризуются низкой или средней обеспеченностью молибденом.

Анализ данных по окультуренности позволяет сделать вывод о том, что существенная бонитировка почв дает реальную оценку их плодородия, и средние величины основных агрохимических показателей и содержание микроэлементов по каждой группе окульту-

Вариационно-статистические параметры основных агрохимических свойств и содержание подвижных форм микроэлементов в почвах с разной окультуренностью

Показатели	Степень окультуренности почв					
	слабая	n=980	средняя	n=4263	высокая	n=1634
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Гумус, %	1,23±0,01	31	2,33±0,01	36	4,0±0,04	38
pH	4,6±0,02	10	6,3±0,01	11	6,4±0,02	14
H, мг-экв/100 г	2,9±0,03	31	1,5±0,01	36	0,9±0,01	40
S, мг-экв/100 г	7,2±0,08	33	14,8±0,08	36	27,0±0,26	38
V, %	71,1±0,33	14	90,8±0,08	6	96,7±0,08	3
P ₂ O ₅ , мг/100 г	5,3±0,05	30	10,4±0,06	36	18,0±0,19	43
K ₂ O, мг/100 г	10,4±0,10	29	16,8±0,09	34	24,1±0,24	40
<i>Микроэлементы, мг/кг</i>						
B	0,18±0,003	56	0,35±0,003	62	0,76±0,012	64
Cu	2,1±0,034	50	3,8±0,028	47	6,3±0,068	43
Mn	28,3±0,55	61	68,8±0,62	59	96,2±1,25	52
Mo	0,05±0,001	42	0,12±0,001	48	0,18±0,002	51
Co	0,60±0,01	52	2,30±0,02	56	3,90±0,06	57
Zn	0,70±0,012	53	2,0±0,019	61	3,6±0,058	65

ренности в основном укладываются в соответствующие градации, принятые в агрохимической службе страны.

Производственная деятельность человека и интенсивность использования земель обуславливают изменение химического и микроэлементного состава почв. В литературе приводятся отдельные сведения о более низком содержании микроэлементов в пахотных почвах, по сравнению с луговыми (Санько П. И. и др., 1971). Обобщение данных о содержании микроэлементов в почвах области показало значительные различия в их количестве в почвах разных сельскохозяйственных угодий (табл. 46).

На всех изучаемых типах почв в пахотном слое пашни содержится меньше микроэлементов, чем в лугопастбищных угодьях. Это объясняется, прежде всего, более высоким ежегодным отчуждением микроэлементов с урожаем на пахотных землях, более энергичной минерализацией в них органического вещества, а также большей потерей микроэлементов за счет вымывания и выноса с дренажными водами.

В почвах лугопастбищных угодий, благодаря мощному развитию травянистой растительности, более активно проявляются процессы биогенной аккумуляции микроэлементов. Кроме того, здесь имеет место их дополнительное поступление в гумусовый горизонт за счет гидрогенной и механической аккумуляции.

Различия в содержании отдельных микроэлементов в почвах разных сельскохозяйственных угодий неодинаковые. Менее существенны они у марганца и молибдена (не превышают 5—6%), более значительны у бора, меди и кобальта (от 7 до 16,4%), а также у цинка (от 22,6 до 33,6%) и зависят от типа почвы. В дерново-подзолистых почвах они менее существенны по сравнению с дерновыми и аллювиальными, а также торфяными почвами.

В подтверждение ранее сделанного нами вывода о большей потере микроэлементов за счет вымывания их с дренажными водами на пашне нами проведены трехлетние эксперименты по изучению количественного и качественного состава дренажного стока с разных видов сельскохозяйственных угодий (табл. 47).

Концентрация микроэлементов в дренажных водах и их вынос с разных сельскохозяйственных угодий неодинаковы. В почвах пашни они выше по сравнению с лугопастбищными угодьями. Так, годовой вынос бора, меди и цинка дренажными водами из почв пашни в 2,2—3 раза, а молибдена, марганца и кобальта — в 1,4—1,8 раза выше, чем из сенокосных угодий.

Относительно высокий уровень выноса микроэлементов дренажными водами из почв пахотных угодий объясняется интенсивным сельскохозяйственным использованием этих земель. В резуль-

Содержание микроэлементов в почвах разных сельскохозяйственных угодий

Угодья	n	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Дерново-подзолистые почвы													
Пашня	1286	0,36±0,01	73	2,62±0,04	53	63±1,2	65	0,058±0,001	44	0,84±0,01	56	0,53±0,01	67
Сенокос	932	0,39±0,01	79	2,84±0,06	59	66±1,2	60	0,061±0,001	43	0,90±0,02	64	0,65±0,02	75
Дерновые глеевые и глееватые почвы													
Пашня	431	0,58±0,02	70	5,1±0,12	50	75±2,6	63	0,077±0,002	42	0,77±0,02	53	1,30±0,04	64
Сенокос	326	0,63±0,03	74	5,6±0,18	57	79±2,4	64	0,081±0,001	41	0,83±0,03	61	1,63±0,07	72
Аллювиальные почвы													
Пашня	48	0,84±0,08	63	8,8±0,6	47	65±5,7	59	0,067±0,003	38	1,27±0,09	50	1,94±0,16	58
Сенокос	297	0,92±0,04	66	9,7±0,27	52	69±2,4	60	0,071±0,002	37	1,39±0,04	53	2,48±0,09	64
Осушаемые торфяные почвы													
Пашня	38	0,95±0,09	56	7,8±0,49	38	58±4,8	50	0,048±0,002	29	1,27±0,09	43	1,48±0,13	55
Сенокос	339	1,07±0,03	60	9,1±0,2	43	61±1,6	47	0,051±0,001	28	1,48±0,04	49	1,98±0,06	59

Динамика сезонного выноса микроэлементов из почв дренажными водами

Элемент	Зима (декабрь-февраль)			Весна (март-май)			Лето (июнь-август)			Осень (сентябрь-ноябрь)			Годовой вынос
	концентр. $\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	вынос, г/га	концентр. $\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	вынос, г/га	концентр. $\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	вынос, г/га	концентр. $\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	вынос, г/га	г/га
Пашня, n=647													
B	4,8±0,15	79	2,9	2,3±0,06	63	2,2	1,2±0,03	59	0,45	5,7±0,19	83	0,83	6,5±0,20
Cu	19,3±0,46	61	11,8	11,2±0,26	58	11,0	5,1±0,09	43	1,8	28,9±0,85	74	4,2	28,8±0,73
Mn	283±8,8	78	174	169±4,4	66	166	132±3,2	62	46,5	201±5,8	72	29,1	415±11,8
Mo	0,91±0,02	56	0,56	0,60±0,01	50	0,59	0,45±0,01	48	0,16	1,0±0,03	64	0,16	1,4±0,03
Co	1,2±0,03	66	0,74	0,74±0,02	59	0,73	0,47±0,01	55	0,17	1,5±0,04	70	0,22	1,8±0,05
Zn	166±5,5	84	102	104±3,2	77	102	47±1,2	64	16,6	208±7,9	96	30,1	250±8,5
Сенокос, n=423													
B	1,6±0,07	87	1,0	1,0±0,03	69	1,00	0,57±0,01	44	0,20	1,9±0,09	93	0,28	2,5±0,10
Cu	11,3±0,40	73	6,9	6,8±0,20	61	6,7	3,9±0,09	46	1,4	15,7±0,64	84	2,3	17,3±0,61
Mn	147±4,7	65	90	93±2,5	54	92	82±2,0	51	28,9	166±5,6	69	24,0	234±7,1
Mo	0,31±0,01	37	0,19	0,20±0,003	33	0,20	0,17±0,003	32	0,06	0,36±0,007	41	0,05	0,50±0,01
Co	0,87±0,03	70	0,53	0,54±0,02	61	0,53	0,32±0,008	49	0,11	1,0±0,04	72	0,15	1,3±0,05
Zn	79,4±3,5	91	48,7	41,8±1,6	78	41,1	25,4±0,76	61	8,9	96±4,6	98	13,9	112±4,8

тате систематических обработок в профиле пахотных почв превалируют окислительные процессы, которые значительно снижают уровень биогенного закрепления элементов, а хорошая дренированность этих почв и изобилие осадков способствуют миграции микроэлементов сверху вниз по профилю почв и обогащению ими дренажных вод.

Развитие густой травянистой растительности на лугопастбищных угодьях усиливает процесс биогенной аккумуляции микроэлементов, а плотная дернина способствует их закреплению. Высокий уровень стояния почвенно-грунтовых вод и временное или длительное переувлажнение почв изменяют условия гидрологического режима. Здесь, как правило, в летний период имеет место преимущественно выпотной водный режим, приводящий к некоторому обогащению гумусового горизонта микроэлементами и значительно снижающий их концентрацию в дренажных водах, а следовательно, и их вынос.

Однако уровень выноса микроэлементов дренажными водами относительно запаса их подвижных форм в профиле весьма незначительный. На почвах пашни у бора, меди, марганца и кобальта он колеблется от 0,032 до 0,085%, у молибдена составляет 0,13% и у цинка 2%. На лугопастбищных угодьях вынос большинства микроэлементов не превышает 0,023—0,044% и лишь по цинку составляет 0,93%.

Однако, несмотря на относительно небольшие потери микроэлементов с дренажным стоком от их общего запаса в пахотном слое, при низком уровне обеспеченности почв данными элементами эта статья расхода может значительно усилить дефицит ряда элементов для растений. Учет уровня выноса микроэлементов дренажными водами имеет важное значение для расчета их баланса в почвах и особенно в условиях изучаемого региона с избыточным переувлажнением почв, обилием осадков и интенсивной мелиорацией.

Большой теоретический интерес и практическое значение имеет изучение динамики сезонного выноса микроэлементов дренажным стоком (рис. 2). Она позволяет установить взаимосвязь различных факторов, влияющих на уровень выноса микроэлементов в отдельные периоды года, особенности изменения концентрации элементов под влиянием климатических факторов и др.

Уровень стока дренажных вод в зимний период (613,5 м³/га) согласуется с количеством выпадающих осадков. Здесь главенствующую роль во взаимосвязи данных факторов играют климатические условия региона — мягкая теплая зима и обилие осадков в этот период. В весенне-летне-осенний период уровень дренажного стока

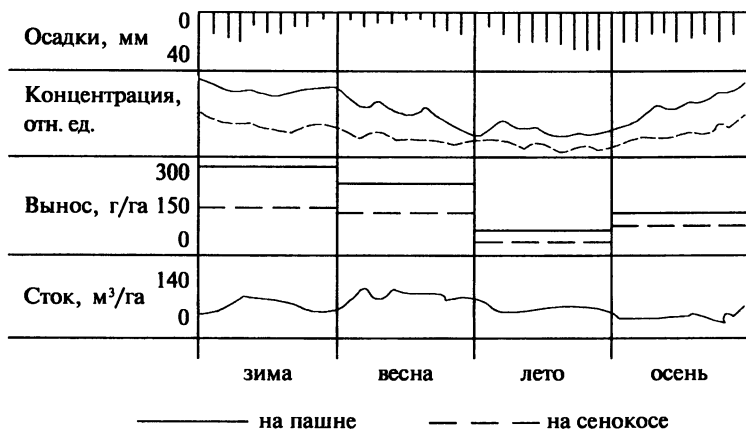


Рис. 2. Динамика выноса микроэлементов дренажным стоком

не определяется количеством осадков. Весной в период таяния снега уровень дренажного стока максимальный (983,3 м³/га), а концентрация микроэлементов постепенно уменьшается за счет разбавления. В период вегетации растений, несмотря на обилие осадков, уровень дренажного стока низкий (352,3 м³/га летом и 144,8 м³/га осенью), что связано с мощным испарением воды растениями. В этот период отмечается минимальная концентрация микроэлементов в дренажных водах, что определяется значительным их закреплением в почве. Повышение концентрации микроэлементов в воде в позднеосенний период происходит вследствие прекращения вегетации растений, частичной минерализации органического вещества и перехода минеральных элементов в подвижное состояние. На пашне этот процесс идет более активно, чем на лугопастбищных угодьях.

Подобная закономерность проявляется в сезонном выносе микроэлементов дренажными водами, где его минимум приходится на летне-раннеосенний период, т. е. период активного роста и развития растений, а максимум — на зимний и ранневесенний периоды. Так, в период с декабря по февраль с дренажным стоком выносятся от 38 до 45%, а с марта по май — от 35,1 до 40,7% микроэлементов от их годового вымывания, а осенью и летом — соответственно от 7 до 14,5% и от 6,3 до 12,3%.

Вегетационный период на лугопастбищных угодьях начинается с середины апреля и продолжается до середины октября, а на пахотных

угодьях, главным образом, с первой декады мая до конца августа, т. е. продолжительность его на лугопастбищных угодьях на 1,5 месяца больше, чем на пашне. Это также оказывает существенное влияние на уровень миграции микроэлементов и их вымывание дренажными водами, ибо одной из главных причин снижения выноса элементов в период вегетации растений является вовлечение последних в биологический круговорот. Более длительное нахождение пашни без растительного покрова, по сравнению с лугопастбищными угодьями, также способствует более высокому выносу микроэлементов дренажным стоком.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что микроудобрения следует применять в период активного роста и развития растений, что не приведет к их существенным потерям и накоплению их в почвенно-грунтовых водах.

В условиях высокого уровня химизации и химической мелиорации земель производственная деятельность человека оказывает существенное влияние на изменение плодородия почв. Внесение органических, минеральных удобрений и химических мелиорантов изменяет физико-химические условия в почве, нейтрализует кислую реакцию почвенного раствора, повышает содержание в почве элементов питания, а также оказывает влияние на подвижность микроэлементов и их доступность растениям.

В литературе приводятся сведения о влиянии известкования кислых почв на подвижность микроэлементов, однако они весьма противоречивы. О снижении содержания подвижного бора в разных типах почв при известковании свидетельствуют работы Рюбензам Э., Рауэ К. (1969); меди и цинка — Джурко М. С., Игнатовой В. Г. (1974); Моругиной М. П. и др. (1974); кобальта — в работах Егоровой Т. К. (1968), Пилипушко В. Н., Туева Н. А. (1972); Гюльяхмедова А. Н. (1980).

Гецевич Н. А. (1974) установила, что изменение рН среды с 4,5 до 6,5 снижало содержание подвижного марганца в дерново-подзолистой супесчаной почве с 60 до 20 мг/кг, в суглинистой — с 203 до 45 мг/кг, в торфяной — с 68 до 22 мг/кг. Аналогичное влияние известкования на подвижность марганца в почве отмечено в работах других исследователей (Беер К., 1968; Панюшина Е. В., 1977; Писарев Б. А., Подколзина А. К., 1977).

О положительном влиянии известкования на подвижность и усвояемость растениями молибдена рассказывается в работах Петербургского А. В. (1972); Ринькис Г. Я. (1972); Рудина В. Д., Шипотовского В. В. (1975); Фомина П. И. и др. (1976); Рочева В. А. (1979).

В работах Турбас Э. и др. (1971), Рочева В. А. (1979) показано, что известкование кислых почв снижает подвижность молибдена и его

доступность растениям и, наоборот, увеличивает содержание подвижного цинка на известкованных участках.

Некоторые исследователи приходят к выводу, что внесение извести не оказывает влияния на подвижность микроэлементов в почвах.

Для Калининградской области с ее высоким уровнем химизации и мелиорации земель изучение влияния известкования на подвижность и содержание микроэлементов в почвах весьма актуально.

В 8-летнем опыте было изучено действие разных доз сланцевой золы и доломитовой муки на содержание подвижных форм микроэлементов в дерново-подзолистой почве и их поступление в растения. Проведение многолетнего опыта позволило проследить динамику изменения содержания подвижных форм микроэлементов на известкованных участках (рис. 3).

Общей закономерностью является некоторое снижение бора, меди, марганца, кобальта и цинка в почве в первые 1—4 года после внесения известковых материалов. Уровень и продолжительность действия

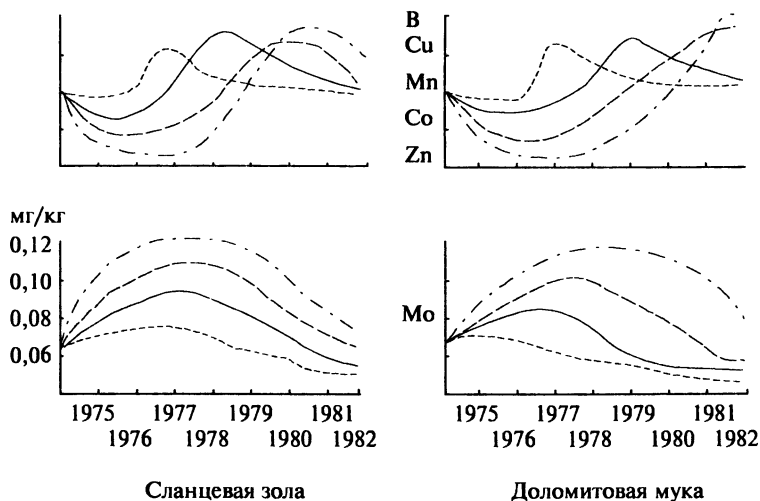


Рис. 3. Динамика изменения содержания микроэлементов в почвах при известковании

Дозы извести, т/га: ---- 3,5; — 7,0; — — 14,0; - - - 21,0.

зависят от дозы извести и изменения рН. Слабое влияние на подвижность микроэлементов оказывала доза извести 3,5 т/га. Как правило, ее действие проявлялось лишь в год внесения.

Более продолжительное воздействие оказывали высокие дозы извести. Максимальное снижение содержания микроэлементов наблюдалось на второй или третий год после известкования. Однако уровень снижения содержания подвижных форм микроэлементов при известковании невысокий. Так, от дозы извести 3,5 т/га их количество уменьшалось на 2—9%, 7 т/га — 6—15%, 14 т/га—9—22% и от 21 т/га на 13—29%.

Доломитовая мука в большей степени влияет на изменение концентрации подвижных форм микроэлементов в почве, по сравнению со сланцевой золой, что, по-видимому, связано с дополнительным внесением некоторого количества элементов с последней. По нашим данным и данным других исследователей (Турбас Э., Калмет Р., Хист В., 1971) в 1 кг сухой сланцевой золы содержится в мг: 4—23 бора; 8,6 —15,6 меди; 140—205 марганца; 6,2 молибдена; 1,9—3,4 кобальта и 28—126 цинка.

В последствии (через 2—5 лет) известкование обуславливало повышение уровня содержания микроэлементов в почвах, что объясняется стабилизацией почвенных процессов и улучшением условий корневого питания растений. Так, в период с 3-го по 8-й год после внесения извести в дозе 3,5 т/га содержание подвижного бора в почве по отдельным годам увеличивалось от 2,3 до 26,3% и в среднем за 8 лет с учетом общей амплитуды изменения его содержания по годам составляет 1—9%, меди — соответственно от 4,6 до 17,5% и в среднем 4—11,1%, кобальта — от 1,1 до 14,2 и 5—9%, цинка — от 1,7 до 18 и 4—7%, марганца — от 3,1 до 14,6 и 4,2—7,5%.

Доза извести 7 т/га в последствии повышала содержание бора на 2,2—21%, меди — на 2,9—20,9%, кобальта — на 2,7—15,4%, цинка — на 5,9—18%, марганца — на 2,4—17,1%. В среднем за 8 лет содержание данных микроэлементов после известкования в этой дозе увеличивалось соответственно на 5—6; 10,3—13,6; 10—11; 6,4—10 и 4,8—11%. Менее значительное увеличение содержания микроэлементов в последствии извести имело место при ее внесении в более высоких дозах (14 и 21 т/га) (табл. 48).

Запас накопления в почве подвижных форм рассматриваемых микроэлементов зависит от вида известкового материала — больше при известковании сланцевой золой, по сравнению с доломитовой мукой.

Иная закономерность наблюдается в поведении подвижного молибдена при известковании. Внесение сланцевой золы и доломитовой муки увеличивает количество его подвижных форм в почве как в год

Влияние разных доз и форм известковых материалов на содержание подвижных форм микроэлементов в почвах, мг/кг (средние данные за 8 лет)

Доза изве- сти, т/га	В		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Контроль												
	0,50±0,02	11,2	2,1±0,08	10,4	107±4,92	13,6	0,08±0,001	4,8	1,0±0,06	17,5	0,72±0,03	10,5
Сланцевая зола, т/га												
3,5	0,51±0,02	10,6	2,4±0,12	14,2	115±7,29	18,6	0,08±0,003	11,3	1,0±0,08	22,2	0,78±0,03	10,6
7,0	0,53±0,02	10,4	2,5±0,15	18,1	120±8,31	21,3	0,09±0,005	15,5	1,1±0,08	21,7	0,80±0,03	10,1
14,0	0,50±0,02	12,4	2,2±0,11	14,4	107±7,44	21,0	0,10±0,004	13,6	1,0±0,08	21,7	0,75±0,04	17,2
21,0	0,48±0,02	14,2	2,2±0,04	5,7	103±7,79	22,3	0,11±0,005	15,0	1,0±0,11	35,8	0,71±0,04	16,5
Доломитовая мука, т/га												
3,5	0,50±0,02	12,9	2,2±0,10	12,3	111±5,48	14,6	0,08±0,003	11,4	1,0±0,06	17,7	0,75±0,03	10,7
7,0	0,50±0,02	11,7	2,4±0,12	14,3	112±6,47	17,4	0,08±0,004	13,8	1,1±0,08	21,3	0,77±0,03	11,7
14,0	0,45±0,03	15,3	2,3±0,08	11,3	110±7,69	20,8	0,09±0,004	12,8	1,1±0,09	26,3	0,72±0,05	18,8
21,0	0,44±0,02	13,5	2,1±0,11	15,4	110±7,41	20,2	0,10±0,003	9,7	1,0±0,09	26,6	0,70±0,04	16,2

их внесения, так и в последствии. При этом уровень изменения содержания молибдена находится в прямой зависимости от доз известковых материалов. Как правило, максимум увеличения концентрации молибдена наблюдается на 3—4-й год после известкования. Затем его количество в почве постепенно уменьшается и на 6—8-й год может быть ниже уровня в неизвесткованной почве, вследствие его вымывания и выноса урожаем.

Как и в случае с другими микроэлементами, более высокий уровень содержания молибдена в почве имеет место при известковании сланцевой золой по сравнению с доломитовой мукой. За счет внесения 3,5 т/га извести содержание подвижного молибдена в почве в отдельные годы повышалось на 1,1—13,8%, от 7 т/га — на 2,5—27,3%, от 14 т/га — на 4,8—28,9% и 21 т/га — на 7—40%. В среднем за 8 лет от известкования в указанных дозах содержание молибдена в почве повышалось соответственно на 2—4; 4,7—13,8; 15,6—19 и 22—27,7%.

Опыты показали, что в целом за 8 лет в почвах известкованных участков общее содержание подвижных форм микроэлементов было выше, чем в неизвесткованной почве, а наиболее оптимальной дозой известкового материала по его действию на подвижность микроэлементов следует считать 7 т/га. При этой дозе за 8 лет общее содержание бора в почве повысилось на 5—6%, меди и молибдена — на 13—14%, марганца, кобальта и цинка — на 10—11%.

Известкование кислых почв оказывает определенное действие на поступление микроэлементов в растения и существенно влияет на их вынос урожаем. При этом уровни накопления микроэлементов в растениях зависят от дозы и вида известкового материала и особенностей сельскохозяйственных культур.

Известкование, повышая рН почвы и снижая подвижность меди, цинка, марганца, кобальта и бора, обуславливает в первые годы тормозящее действие на поступление этих элементов в растения. Депрессия в накоплении микроэлементов в разных сельскохозяйственных культурах при внесении извести в дозе 3,5 т/га проявляется в течение 1—2 лет, 7 т/га — 2—3, 14 т/га — 4—5 и 21 т/га — более 5 лет. Тормозящее действие извести на поступление микроэлементов в растения также зависит от вида и дозы известкового материала. Если уровень снижения концентрации элементов в растениях от дозы извести 3,5 и 7 т/га не превышает 10 относительных процентов, то более высокие дозы — 14 и 21 т/га оказывали более сильное тормозящее действие и снижали уровень поступления элементов в растения на 15% и более.

По мере стабилизации почвенных процессов после известкования улучшаются условия корневого питания растений, основные

агрохимические свойства почв достигают оптимального уровня. На этом этапе депрессирующее действие извести на поступление микроэлементов в растения прекращается и в ее последствии, как правило, имеет место повышение уровня накопления микроэлементов в растениях. Наибольшее накопление наблюдается при внесении сланцевой золы в дозе 7 т/га, где в течение 4—5 лет содержание микроэлементов в растениях повышалось на 5—20 относительных процентов.

Анализ характера закономерностей изменения микроэлементного состава почв под действием известкования и условий депонирования элементов в растения подтверждает ранее сделанный вывод о том, что наиболее оптимальной дозой известкового материала на сильнокислой дерново-подзолистой почве является 7 т/га.

Следует отметить, что сланцевая зола по сравнению с доломитовой мукой оказывает слабое депрессирующее действие на поступление микроэлементов в растения и сильно влияет на трансформацию в них элементов в последствии, что связано с особенностями данного известкового материала как дополнительного донатора многих микроэлементов.

Иная закономерность поступления молибдена в растения. Здесь депрессирующее действие извести не наблюдается. Внесение сланцевой золы или доломитовой муки оказало трансформирующее действие на поступление молибдена в растения. При этом степень данного действия повышалась с увеличением дозы извести и снижалась в последствии. В отличие от других элементов, главным фактором, определяющим уровень поступления молибдена в растения, является изменение почвенной кислотности, а вместе с ней и подвижности молибдена в почве.

Независимо от изменения подвижности микроэлементов в известкованной почве, характерной особенностью является увеличение их общего выноса разными культурами в целом за 8 лет (табл. 49).

Уровень выноса микроэлементов положительно коррелирует с дозами известковых материалов. При дозе 3,5 т/га извести общий вынос микроэлементов близок к контролю и повышался лишь в 1,05—1,14 раза, 7 т/га — в 1,14—1,34; 14 т/га — в 1,23—1,65 и 21 т/га — в 1,33—2,12 раза. Приведенные данные показывают на высокое положительное влияние известкования на микроэлементную ситуацию в системе почва — растение, а также на возможность частичного снижения дефицита ряда элементов в почве за счет проведения данного мероприятия, особенно при применении сланцевой золы.

Рост общего выноса микроэлементов при известковании приводит к снижению их содержания в почве и может создать условия значи-

**Влияние известкования на вынос микроэлементов урожаем
(общий вынос культурами севооборота за 8 лет, т/га)**

Доза изве- сти, т/га	В		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Контроль												
0	120±9,2	75	151±12,0	78	2362±254	95	8,8±0,66	74	5,6±0,42	72	705±54	75
Сланцевая зола, т/га												
3,5	133±10,9	78	165±12,9	76	2539±270	96	9,7±0,78	80	6,6±0,52	78	771±59	73
7,0	151±12,2	79	194±14,5	74	3069±325	86	12,1±1,0	80	8,0±0,71	87	916±65	70
14,0	180±15,5	88	218±15,7	70	3617±437	91	15,4±1,3	78	8,3±0,76	92	1032±74	72
21,0	219±16,5	81	248±16,4	66	4100±487	90	20,1±1,7	80	9,7±0,97	100	1189±97	77
Доломитовая мука, т/га												
3,5	129±10,0	74	164±12,6	75	2525±227	99	9,1±0,76	83	6,3±0,49	76	759±57	72
7,0	141±11,4	79	181±13,6	74	2884±341	96	11,0±0,91	80	7,2±0,64	87	858±62	71
14,0	163±13,1	82	204±14,5	69	3353±418	94	14,1±1,2	81	7,6±0,73	96	965±72	75
21,0	186±14,4	83	228±15,3	67	3776±473	95	17,6±1,4	76	8,2±0,85	103	1060±81	72

тельного дефицита ряда элементов. Поэтому при проведении данного мероприятия необходимы регулярный контроль за изменением содержания подвижных форм микроэлементов в почвах и систематическое внесение микроудобрений.

В литературе приводятся многочисленные данные о влиянии различных видов минеральных удобрений на содержание и подвижность микроэлементов в почвах, а также на их поступление в растения. Некоторые авторы (Швидка Г. Д., 1976; Панин М. С., Лобода Б. П., 1978; Нелюбова Г. Л., Старовойтова В. П., 1979) отмечают увеличение содержания подвижных форм бора, марганца, цинка в почвах при внесении азотных удобрений. Снижение подвижности молибдена и меди при внесении данных удобрений установлено в работах Бахнова В. К. (1977); Селевцовой Г. А., Потатуевой Ю. А. (1981). Отсутствие влияния азотных удобрений на содержание микроэлементов в почвах показано в работе Турбас Э. и др. (1971).

Исследователи (Ратнер Е. И. и др., 1972) указывают на увеличение содержания меди, цинка, марганца и молибдена в растениях при внесении азотных удобрений, причем данная закономерность более сильно проявляется при применении нитратного азота, по сравнению с аммиачным.

В полевых экспериментах были изучены закономерности изменения содержания подвижных форм микроэлементов в дерново-подзолистых почвах под влиянием разных видов и доз азотных удобрений. Действие удобрений изучалось на почвах, различающихся по кислотности, содержанию микроэлементов и другим признакам.

Обобщенные данные фактического материала, приведенного в таблице 50, показывают, что аммиачная селитра и мочевины, независимо от их доз на почвах с разной обменной кислотностью, практически не изменяют рН среды и не оказывают заметного влияния на изменение содержания и подвижности микроэлементов в пахотном слое.

Колебания в изменении рН и разброс концентраций элементов лежат в пределах ошибки аналитических измерений, и на почве с рН 4,8 в среднем составлял $\pm 4-7$ относительных процента, с рН 5,3 — $\pm 2,5-6\%$ и с рН 6,9 — $\pm 6,3-7\%$.

Более существенные изменения в содержании подвижных форм микроэлементов в почвах имели место при внесении физиологически кислой соли удобрения (сульфата аммония), при этом уровень действия удобрения зависел от его дозы. Так, внесение 480 кг азота на гектар изменило рН почвенной среды на 0,1—0,6 единицы в сторону подкисления, чем и обуславливало повышение подвижности ряда микроэлементов в почвах.

Таблица 50

Влияние разных форм и доз азотных удобрений на содержание подвижных форм микроэлементов в почвах, мг/кг (на среднекислых почвах)

Варианты	pH	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
Фон-Р-К ₁₂₀	4,8±0,41	0,28±0,02	2,1±0,18	35±3,0	0,07±0,006	0,53±0,05	0,45±0,04
<i>Аммиачная селитра</i>							
N ₁₂₀ + фон	4,8±0,41	0,26±0,02	1,8±0,15	25±2,14	0,06±0,005	0,49±0,04	0,49±0,04
N ₂₄₀ + фон	4,7±0,40	0,29±0,02	2,0±0,17	35±3,1	0,07±0,006	0,54±0,05	0,48±0,04
N ₄₈₀ + фон	4,7±0,40	0,31±0,03	2,3±0,19	34±2,9	0,07±0,006	0,55±0,05	0,48±0,04
<i>Мочевина</i>							
N ₁₂₀ + фон	4,8±0,41	0,28±0,02	1,9±0,16	33±2,8	0,07±0,006	0,56±0,05	0,45±0,04
N ₂₄₀ + фон	4,7±0,40	0,32±0,03	2,2±0,19	33±2,8	0,07±0,006	0,59±0,05	0,48±0,04
N ₄₈₀ + фон	4,7±0,40	0,35±0,03	2,5±0,21	38±3,3	0,07±0,006	0,58±0,05	0,50±0,04
<i>Сульфат аммония</i>							
N ₁₂₀ + фон	4,7±0,40	0,32±0,03	2,2±0,19	30±2,6	0,07±0,006	0,60±0,05	0,49±0,04
N ₂₄₀ + фон	4,6±0,39	0,30±0,03	2,6±0,22	40±3,4	0,06±0,005	0,62±0,053	0,53±0,05
N ₄₈₀ + фон	4,2±0,36	0,35±0,03	3,1±0,26	44±3,8	0,06±0,005	0,68±0,06	0,58±0,05

В целом при увеличении доз азотных удобрений проявляется тенденция к некоторому увеличению количества подвижных форм бора, меди, марганца, кобальта, цинка и уменьшению концентрации молибдена.

При внесении 120 кг азота на гектар наблюдалось незначительное изменение в содержании микроэлементов. При этом содержание подвижных форм меди и марганца в почвах повышалось на 4,7—6%, а бора, кобальта и цинка — на 11—14%. Доза 240 кг/га азота, внесенного с сульфатом аммония, повысила содержание микроэлементов в почвах на 14—24%, а 480 кг/га — на 25—48%. Количество подвижного молибдена от действия азотных удобрений уменьшалось на 6—23%. Более значительное изменение содержания микроэлементов при внесении азотных удобрений проявлялось на кислых почвах по сравнению со слабокислыми и нейтральными.

Изменение реакции почвенного раствора оказывает определенное действие на подвижность микроэлементов, что подтверждается неодинаковым влиянием разных форм азотных удобрений на уровень концентрации элементов в почвах. Если аммиачная селитра и мочевина повышали их содержание в среднем на 3—10%, то сульфат аммония — на 13—20%, что, несомненно, связано с подкисляющим действием последнего на почвенный раствор.

Азотные удобрения, улучшая условия корневого питания растений, способствуют поступлению в них микроэлементов.

В целом можно отметить, что уровень поступления микроэлементов в растения зависит от особенностей сельскохозяйственных культур, доз и форм удобрений. Увеличение содержания микроэлементов в растениях кукурузы, ячменя и ржи при внесении азотных удобрений в дозе 120 кг/га составило 13—17%, а в дозе 240 кг/га доходило до 30% и более. Из трех изученных видов азотных удобрений наиболее сильное влияние на поступление микроэлементов в растения оказывал сульфат аммония.

Более рельефно проявляется действие азотных удобрений на выносе микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур. Улучшая условия развития растений, удобрения способствуют повышению урожая, а вместе с ним и увеличению выноса микроэлементов. Независимо от вида азотного удобрения, внесение 120 кг азота на гектар способствовало увеличению выноса микроэлементов в 1,4—1,7 раза, а 240 кг/га — в 1,5—2,3 раза.

Уровень выноса микроэлементов определяется особенностями культур. С урожаем зеленой массы кукурузы с гектарной площади выносятся 12,7—25,2 г бора; 12,7—22,1 г меди; 138—259 г марганца; 0,8—1,82 г молибдена; 0,50—1,15 г кобальта и 90—173 г цинка. Более высокий уровень выноса элементов характерен для ячменя и озимой

ржи. Для данных культур он соответственно составляет 20,3—43,4 и 10,6—22,8 г бора; 27,7—53,3 и 18,6—36,8 г меди; 305—617 и 250—486 г марганца; 156—359 и 136—301 г цинка.

В таблице 51 приведены обобщенные данные выноса микроэлементов тремя изучаемыми культурами под влиянием азотных удобрений. При выращивании кукурузы на силос, ячменя и озимой ржи в среднем за три года с гектарной площади отчуждается около 44 г бора, 60 г меди, 700 г марганца, 4 г молибдена, 2,5 г кобальта и 380 г цинка.

Внесение азотных удобрений на фоне высокой агротехники способствует повышению выноса микроэлементов. По бору он возрастает до 91 г, меди — 112 г, марганцу — 1360 г, молибдену — 8,1 г, кобальту — 5,2 г и цинку — 850 г с гектара.

Однако приведенные цифры дают представление лишь об усредненных значениях микроэлементов в почвах вследствие их выноса урожаем. Высокие величины коэффициентов вариации свидетельствуют о значительном разбросе этих цифр. Вместе с тем приведенные данные наглядно подтверждают актуальность проблемы пополнения запасов микроэлементов в почвах в процессе хозяйственной деятельности человека.

В литературе имеются многочисленные сведения о действии фосфорных и калийных удобрений на содержание микроэлементов в почвах и их поступление в растения. Многие авторы (Муравин Э. А., Журавлева С. В., 1970; Стоянов Д. В., 1973; Лيشкевич Г. И., 1974; Небольсин М. Н., 1977; Панин М. С., Лобода Б. П., 1978; Ягодин Б. А., Тищенко И. В., 1978) отмечают снижение подвижности меди, цинка, кобальта, бора и марганца в почвах и уменьшение их доступности растениям при внесении фосфорных удобрений. В работах Рюбензам Э., Рауэ К. (1969), Муравина Э. А., Журавлевой С. В. (1970), Подколзиной А. К. (1980), Селевцовой Г. А., Потатуевой (1981) отмечается увеличение содержания подвижного молибдена в почвах при внесении фосфорных удобрений, особенно на кислых почвах.

Некоторыми авторами (Чесняк Г. Я., Чесняк О. А., 1969; Мельникова М. К., Куделя А. Д., 1972; Городний Н. Н., Гуцуляк В. Д., 1979) показано увеличение содержания ряда микроэлементов в почвах под влиянием длительного применения одних только минеральных удобрений.

Другие авторы (Турбас Э. и др., 1971) показали, что систематическое внесение минеральных удобрений не оказывает существенного влияния на подвижность микроэлементов в почвах и их доступность растениям. На отсутствие корреляционной связи между содержанием макроэлементов (азот, фосфор, калий) и количеством

**Влияние разных форм и доз азотных удобрений на общий вынос микроэлементов
с урожаем кукурузы, ячменя и озимой ржи, г/га**

Доза	В		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
<i>Контроль, фон $P_{120}K_{120}$</i>												
	43,6±6,5	90	59±8,6	88	693±99	86	3,6±0,47	79	2,45±0,33	83	382±48,4	76
<i>Аммиачная селитра</i>												
$N_{120}P_{120}K_{120}$	67,8±9,1	81	84,1±12,1	87	989±138	84	5,7±0,72	76	3,91±0,56	87	605±73,6	73
$N_{240}P_{120}K_{120}$	86,8±12,8	89	95,7±15,3	96	1126±170	91	7,4±0,92	75	4,69±0,67	86	787±100,9	77
<i>Мочевина</i>												
$N_{120}P_{120}K_{120}$	63,2±9,0	86	79,6±11,4	86	937±135	87	5,4±0,70	78	3,41±0,44	78	563±71,3	76
$N_{240}P_{120}K_{120}$	90,9±14,1	93	103±17,1	101	1227±194	95	8,1±1,14	85	5,2±0,79	92	852±110,8	78
<i>Сульфат аммония</i>												
$N_{120}P_{120}K_{120}$	63,0±9,1	87	84,3±12,5	89	1021±139	82	4,5±0,60	80	3,68±0,53	87	586±73,5	75
$N_{240}P_{120}K_{120}$	84,4±13,1	93	112,2±17,0	91	1362±202	89	4,9±0,70	86	5,22±0,75	87	798±101,1	76

общего и доступного бора в почвах указывается в работах Нелюбовой Г. Л., Старовойтовой В. П. (1979), молибдена — Селевцовой Г. А., Потатуевой Ю. А., марганца, молибдена и цинка — Шуба Р. К., 1977.

Рядом исследователей (Нелюбова Г. Л., Старовойтова В. П., 1979) приводятся данные о том, что внесение калийных удобрений снижает содержание в почве подвижных форм меди, бора и марганца.

Исследования, проведенные отечественными учеными (Каталымов М. В., 1965; Анспок П. И., 1978), показали, что фосфорные и калийные удобрения могут быть дополнительным источником поступления микроэлементов в почву. По их данным, в фосфорных удобрениях содержится от 15 до 6000 мг/кг марганца; от 0,9 до 1,7 мг/кг меди; от 1,3 до 28,2 мг/кг кобальта. Калийные удобрения могут содержать 17—800 мг/кг марганца; 1,1—13 мг/кг меди; 0,5—1,4 мг/кг кобальта и 5—400 мг/кг бора.

Наши исследования показали, что изменение содержания микроэлементов в почвах при внесении фосфорных и калийных удобрений зависит от доз и форм удобрений, а также от агрохимических свойств почв (табл. 52).

В целом содержание бора, меди, марганца, кобальта и цинка в почвах под действием фосфорных удобрений снижается, а молибдена, наоборот, возрастает. Аналогичная закономерность проявляется и в действии калийных удобрений, за исключением марганца, количество которого несколько увеличивается с увеличением доз удобрений.

Природа подобного влияния фосфорных удобрений на содержание микроэлементов в почвах, по-видимому, заключена в частичном связывании катионов металлов фосфатными и гидрофосфатными ионами, в переводе элементов в менее подвижное и малодоступное растением состояние. Молибден находится в почве в анионной форме, причем молибдат-ион имеет высокое химическое средство с фосфатными ионами, что и является причиной более высокой подвижности элемента при внесении фосфорных удобрений.

Внесение фосфорных и калийных удобрений, даже в очень высоких дозах, практически не изменяет pH среды. Уровень влияния фосфорных удобрений на содержание и подвижность микроэлементов зависит от кислотности почв. На кислой почве (pH=4,8) они оказывали существенное влияние на содержание подвижных форм микроэлементов, при этом максимальное изменение их количества составляло 25—50 относительных процентов.

На почвах слабокислых (pH=5,3) оно колебалось в пределах 9—21%, а на нейтральных (pH=6,9) —6—19% и находилось в пределах

**Влияние различных форм и доз фосфорных и калийных удобрений
на содержание подвижных форм микроэлементов в почвах, мг/кг
(на среднекислых почвах)**

Доза, кг/га	pH	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
$\Phi_{0H} - N_{120} K_{120}$							
0	4,8±0,40	0,33±0,04	2,4±0,27	31±6,9	0,06±0,002	0,46±0,03	0,39±0,08
Φ_{0H} — $N_{120} K_{120}$							
Фосфоритная мука, т/га							
1,5	4,9±0,41	0,32±0,04	2,4±0,27	30±6,6	0,06±0,002	0,46±0,03	0,37±0,07
3,0	5,0±0,42	0,30±0,04	2,1±0,23	29±6,4	0,07±0,002	0,44±0,03	0,33±0,06
4,5	5,1±0,43	0,27±0,04	2,0±0,22	25±5,5	0,07±0,002	0,41±0,03	0,31±0,06
Суперфосфат							
120	4,8±0,40	0,30±0,04	2,2±0,24	29±6,4	0,07±0,002	0,45±0,03	0,35±0,07
240	4,8±0,40	0,28±0,04	1,9±0,21	27±6,0	0,08±0,002	0,43±0,03	0,30±0,06
480	4,7±0,39	0,24±0,03	1,8±0,20	22±4,9	0,09±0,003	0,38±0,03	0,26±0,05
$\Phi_{0H} - N_{120} P_{120}$							
4,8±0,40	4,8±0,40	0,22±0,03	1,9±0,21	26±5,8	0,05±0,001	0,45±0,03	0,41±0,08
Калий хлористый							
120	4,8±0,40	0,21±0,03	1,9±0,21	28±6,2	0,06±0,002	0,45±0,03	0,40±0,08
240	4,8±0,40	0,19±0,02	1,7±0,19	30±6,6	0,06±0,002	0,43±0,03	0,37±0,07
480	4,8±0,40	0,16±0,02	1,4±0,16	34±7,5	0,07±0,002	0,42±0,03	0,35±0,07

ошибки аналитических измерений. Дозы фосфора и калия 120 кг/га д. в. существенного влияния на содержание и подвижность микроэлементов на всех изучаемых почвах не оказывали. С увеличением доз удобрений их действие на микроэлементный состав почв усиливается.

Разные формы фосфорных удобрений также неодинаково влияли на измененис содержания микроэлементов в почвах. Оно более существенно при внесении суперфосфата по сравнению с фосфоритной мукой, что связано с более слабой растворимостью последней.

Фосфорные и калийные удобрения оказывают разностороннее действие на поступление микроэлементов в растения. Под их влиянием наблюдается снижение концентрации бора, меди, марганца в растениях. Для кобальта и цинка эта закономерность выражена слабо. Содержание молибдена под действием данных удобрений несколько возрастает.

Однако влияние удобрений неравнозначно и зависит от их вида, дозы и характера сельскохозяйственной культуры. Слабая зависимость между изменениями концентрации микроэлементов в растениях и вносимыми удобрениями имеет место при применении последних в сравнительно низких дозах. Так, при внесении 1,5 т/га фосфоритной муки или суперфосфата и хлористого калия в дозе по 120 кг/га действующего вещества изменялось содержание микроэлементов в кукурузе, ячмене и озимой ржи на 10-15%.

Применение более высоких доз удобрений усиливает влияние на поступление микроэлементов в растения. Так, 4,5 т/га фосфоритной муки, 480 кг/га фосфора или калия, внесенных в виде суперфосфата и калия хлористого, изменяли содержание микроэлементов в изучаемых культурах более чем на 25—40%. При этом суперфосфат оказывал более сильное влияние на изменение концентрации микроэлементов в растениях по сравнению с фосфоритной мукой.

Несмотря на то, что содержание большинства микроэлементов в растениях снижается при внесении фосфорных и калийных удобрений, их вынос урожаем, как правило, выше, чем на контроле (табл. 53). Последнее связано с тем, что удобрения, улучшая условия корневого питания растений, способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур, и значительная часть микроэлементов выносятся из почв с дополнительным урожаем.

С увеличением доз удобрений повышается общий вынос микроэлементов растениями и при высоком уровне минерального питания может возрасти в 1,6—2,3 раза по сравнению с вариантами без удобрений.

Таким образом, минеральные удобрения, даже в высоких дозах, оказывают слабое действие на содержание и подвижность микроэле-

**Влияние разных форм и доз фосфорных и калийных удобрений
на общий вынос микроэлементов с урожаем кукурузы, ячменя и озимой ржи, г/га**

Варианты	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
<i>Фосфоритная мука, т/га</i>												
Фон — N ₁₂₀ K ₁₂₀	54,9±7,4	81	69,8±9,8	85	812±106	79	3,9±0,50	77	2,5±0,39	95	441±44	61
1,5	59,0±7,8	80	74,9±10,4	84	873±113	78	4,6±0,059	77	3,8±0,59	90	496±50	61
3,0	63,7±9,3	86	81,6±11,8	87	946±124	79	5,6±0,70	76	4,1±0,60	88	548±62	68
4,5	66,4±8,1	74	100,1±15,6	94	1128±161	86	7,2±0,93	78	5,0±0,75	90	615±68	67
<i>Суперфосфат, кг.д.в./га</i>												
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	64,7±9,5	89	84,9±12,7	90	978±132	81	5,2±0,66	77	3,9±0,59	92	506±51	61
N ₁₂₀ P ₂₄₀ K ₁₂₀	69,0±10,6	93	91,0±14,1	93	1071±153	86	6,4±0,87	82	4,2±0,67	96	520±54	63
N ₁₂₀ P ₄₈₀ K ₁₂₀	70,8±11,2	95	98,3±16,2	99	1130±161	86	7,4±0,97	79	3,9±0,60	93	529±55	63
<i>Калий хлористый, кг.д.в./га</i>												
Фон-N ₁₂₀ P ₁₂₀	58,0±8,6	89	80,5±12,5	93	972±153	95	4,3±0,45	63	3,4±0,44	77	482±61	76
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	63,6±9,2	87	89,2±12,9	87	1108±162	88	5,3±0,60	69	4,2±0,52	76	583±77	80
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₂₄₀	65,7±9,5	87	91,1±13,2	87	1200±182	91	6,1±0,65	64	4,8±0,61	77	687±88	77
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₄₈₀	67,0±10,1	91	92,8±14,5	94	1158±171	89	6,9±0,79	69	5,5±0,75	82	765±99	78

ментов в почвах, поэтому уже достигнутый и ожидаемый уровень применения средств химизации на перспективу обеспечивает рост урожайности сельскохозяйственных культур и повышает вынос микроэлементов из почвы, что может усилить дефицит ряда элементов для растений и предопределяет актуальность систематического внесения микроудобрений.

Одним из важных приемов окультуривания почв является внесение органических удобрений. Отмечая большое влияние процессов окультуривания почв на содержание и подвижность микроэлементов, многие авторы (Кудрявцев А. П., 1969; Джурко М. С. 1970; Седлухо Н. Я. Цыганов А. Р., 1983) указывают на увеличение в них количества элементов питания, гумуса, улучшение физических свойств и усиление микробиологических процессов.

По сведениям ряда авторов (Рюбензам Э., Рауэ К., 1969; Мурнице В. Я., 1973; Бамберг К. К., 1975; Бергман В., 1982) органические удобрения являются дополнительным источником поступления микроэлементов в почву. По их данным, в 1 кг сухого навоза содержится от 53 до 868 мг марганца; 4—40 мг меди; 1—3,8 мг кобальта; 10—24 мг бора; 0,4—2,5 мг молибдена и от 82 до 96 мг цинка.

Как показали наши исследования, в 1 кг навоза крупного рогатого скота натуральной влажности (около 80%) в среднем содержится: 2—6 мг бора; 0,8—5 мг меди; 10—90 мг марганца; 0,08—0,3 мг молибдена; 0,2—8 мг кобальта и 8—26 мг цинка. В среднем с 40—50 т навоза на каждый гектар вносится 80—300 г бора; 30—250 г меди; 400—1300 г цинка. Однако не все вносимое с навозом количество микроэлементов может использоваться растениями. Большая их часть находится в прочно связанном с органическим веществом состоянии. По данным Ковальского В. В., Андриановой Г. А. (1970), содержащиеся в органических удобрениях микроэлементы могут быть доступны для растений только после минерализации органического вещества. Приводимые в литературе сведения о роли органических удобрений в изменении содержания микроэлементов в почвах противоречивы. Некоторые авторы (Фрейнберг Г. Я., 1970; Ягодин Б. А., Тищенко И. В., 1978; Селевцова Г. А., Потатуева Ю. А., 1981) показали, что при внесении органических удобрений в почвах увеличивается содержание меди, кобальта и молибдена. Однако при этом указывается, что доступность микроэлементов и поступление их в растения значительно снижается.

О повышении содержания подвижного бора в почвах при внесении органических удобрений приводится в работах Турбас Э. и др. (1971); Нелюбовой Г. Л., Старовойтовой В. П. (1979); цинка — Майборода Н. М. и др. (1974).

Другие исследователи отмечают снижение подвижности и содержания доступных растениям форм некоторых микроэлементов в почве при внесении навоза.

В условиях полевого опыта изучалось содержание элементов питания, в том числе микроэлементов в почвах под влиянием различных доз навоза крупного рогатого скота на фоне оптимальных доз РК (табл. 54).

Исследования подтвердили известное положение, что при внесении органических удобрений плодородие почв растет, повышается содержание питательных веществ, улучшаются водно-физические свойства, становится более благоприятной для растений реакция среды, увеличивается запас гумуса.

Внесение навоза в дозах 50 и 100 т/га в значительной степени изменяло содержание микроэлементов в почвах. Увеличение валового содержания микроэлементов за счет закрепления их подвижных форм и внесения последних с навозом не могло быть значительным. Несмотря на то, что на гектар площади с данными дозами навоза внесено 180—360 г бора, 140—280 г меди, 2—6 кг марганца, 10—20 г молибдена, 280—560 г кобальта и 1—2 кг цинка, в пересчете на 1 кг почвы их количество составляло 0,003—2 мг.

В эксперименте навоз был внесен в первый год под кукурузу, последующие два года на ячмене и озимой ржи изучалось его последствие. В год внесения навоза в дозах 50 и 100 т/га происходило снижение подвижности форм микроэлементов в почве соответственно на 8 и 20%. В последующие годы имела место тенденция к некоторому увеличению содержания подвижности форм микроэлементов, что связано с постепенной минерализацией органического вещества, освобождением химических элементов и вовлечением их в биологический круговорот. На второй год после внесения 50 т/га навоза содержание подвижности форм микроэлементов возросло на 14%, от дозы 100 т/га — до 20%. На третий год увеличение составило соответственно 19 и 30%.

Таким образом, направленность процессов и уровни изменения содержания микроэлементов в почвах при применении органических удобрений зависит от доз вносимых удобрений. Несмотря на уменьшение подвижности микроэлементов в год внесения органических удобрений, в последствии они способны значительно повысить уровень их содержания в почвах и усилить поступление в растения (табл. 55).

Результаты исследований показывают, что уровни снижения содержания микроэлементов в растениях в год внесения удобрений зависят от их дозы и при 50 т/га не превышали 10 относительных процентов. Более существенное влияние на поступление элементов в ра-

Влияние органических удобрений на содержание микроэлементов в почвах, мг/кг

ЭЛЕМЕНТЫ	1-й год		2-й год		3-й год	
	вал.	подвижн.	вал.	подвижн.	вал.	подвижн.
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	$\bar{x} \pm S\bar{x}$
<i>Контроль</i>						
B	1,6±0,81	0,28±0,04	11,7±0,81	0,27±0,04	11,1±0,77	0,30±0,04
Cu	10,2±0,71	2,3±0,25	11,0±0,76	2,3±0,25	10,8±0,75	2,4±0,27
Mn	198±22,0	54±12,0	196±21,8	49±10,9	190±21,1	51±11,3
Mo	0,59±0,03	0,052±	0,62±0,03	0,048±	0,66±0,03	0,047±
Co	10,7±0,74	0,60±0,04	10,3±0,71	0,61±0,04	11,0±0,76	0,58±0,04
Zn	52,3±5,8	0,49±0,09	48,8±5,42	0,50±0,09	50,2±5,57	0,48±0,09
<i>Навоз, 50 т/га</i>						
B	11,8±0,82	0,26±0,04	10,9±0,83	0,29±0,04	9,7±0,67	0,31±0,05
Cu	10,2±0,71	2,0±0,27	9,7±0,67	2,3±0,31	8,8±0,61	2,5±0,33
Mn	200±22,2	48±10,7	188±20,9	56±12,4	171±19,0	59±13,1
Mo	0,59±0,02	0,049±	0,55±0,02	0,052±	0,52±0,02	0,055±
Co	10,8±0,69	0,58±0,04	9,9±0,68	0,65±0,05	9,1±0,63	0,66±0,05
Zn	52,6±5,8	0,47±0,09	48,3±5,4	0,51±0,09	42,8±4,7	0,52±0,09
<i>Навоз, 100 т/га</i>						
B	11,9±0,83	0,22±0,03	10,6±0,74	0,30±0,04	8,9±0,62	0,33±0,05
Cu	10,3±0,72	1,8±0,20	9,3±0,64	2,5±0,27	8,0±0,55	2,8±0,31
Mn	201±22,3	43±9,5	180±20,0	59±13,1	156±17,3	65±14,4
Mo	0,60±0,02	0,043±	0,53±0,01	0,05±	0,49±0,01	0,061±
Co	11,0±0,61	0,50±0,03	9,7±0,53	0,67±0,05	8,3±0,46	0,74±0,05
Zn	53,0±5,9	0,41±0,08	47,6±5,3	0,55±0,10	41,6±4,6	0,59±0,11

**Влияние органических удобрений
на содержание микроэлементов в растениях
и вынос их урожаем**

Элементы	Кукуруза		Ячмень зерно солома		Озимая рожь зерно солома	
	содержание, мг/кг, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	вынос, г/га	содержание, мг/кг, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	вынос, г/га	содержание, мг/кг, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	вынос, г/га
<i>Контроль</i>						
B	3,0±0,42	6,9	$\frac{2,37 \pm 0,33}{4,53 \pm 0,63}$	21,6	$\frac{1,83 \pm 0,25}{3,27 \pm 0,45}$	12,3
Cu	3,6±0,50	8,3	$\frac{5,71 \pm 0,79}{4,92 \pm 0,68}$	29,7	$\frac{4,32 \pm 0,59}{3,64 \pm 0,50}$	18,5
Mn	42,7±0,59	97,0	$\frac{35,8 \pm 4,9}{66,1 \pm 9,2}$	316	$\frac{39,2 \pm 5,4}{76,5 \pm 10,6}$	280
Mo	0,26±0,04	0,59	$\frac{0,33 \pm 0,05}{0,26 \pm 0,04}$	1,7	$\frac{0,34 \pm 0,05}{0,28 \pm 0,04}$	1,4
Co	0,18±0,03	0,41	$\frac{0,14 \pm 0,02}{0,25 \pm 0,03}$	1,2	$\frac{0,18 \pm 0,03}{0,30 \pm 0,04}$	1,1
Zn	28,9±4,0	65,7	$\frac{23,5 \pm 3,3}{31,7 \pm 4,4}$	164	$\frac{26,8 \pm 3,7}{35,2 \pm 4,9}$	148
<i>Навоз, 50 т/га</i>						
B	2,8±0,40	11,8	$\frac{2,29 \pm 0,32}{4,26 \pm 0,59}$	28,6	$\frac{1,97 \pm 0,27}{3,54 \pm 0,49}$	18,1
Cu	3,3±0,46	13,8	$\frac{5,41 \pm 0,75}{4,72 \pm 0,58}$	40,7	$\frac{4,71 \pm 0,65}{3,9 \pm 0,54}$	27,4
Mn	39,2±5,4	165	$\frac{34,6 \pm 4,8}{64,8 \pm 9,0}$	434	$\frac{41,7 \pm 5,8}{82,6 \pm 11,4}$	410
Mo	0,24±0,03	1,0	$\frac{0,32 \pm 0,04}{0,27 \pm 0,04}$	2,4	$\frac{0,36 \pm 0,06}{0,31 \pm 0,05}$	2,1
Co	0,17±0,02	0,71	$\frac{0,14 \pm 0,02}{0,26 \pm 0,04}$	1,7	$\frac{0,19 \pm 0,03}{0,32 \pm 0,05}$	1,7
Zn	26,2±3,6	110	$\frac{21,7 \pm 3,0}{30,0 \pm 4,2}$	220	$\frac{29,3 \pm 4,1}{37,7 \pm 5,2}$	217
<i>Навоз, 100 т/га</i>						
B	2,3±0,32	14,7	$\frac{2,09 \pm 0,29}{4,17 \pm 0,58}$	38,2	$\frac{2,11 \pm 0,29}{3,83 \pm 0,53}$	24,9

Элементы	Кукуруза		Ячмень зерно солома		Озимая рожь зерно солома	
	содержание, мг/кг, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	вынос, г/га	содержание, мг/кг, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	вынос, г/га	содержание, мг/кг, $\bar{x} \pm S\bar{x}$	вынос, г/га
Cu	2,8±0,40	17,9	$\frac{5,12 \pm 0,71}{4,21 \pm 0,58}$	53,6	$\frac{5,24 \pm 0,72}{4,5 \pm 0,62}$	40,2
Mn	34,0±4,7	217	$\frac{32,2 \pm 4,5}{60,8 \pm 8,4}$	565	$\frac{45,3 \pm 6,29}{86,5 \pm 12,1}$	555
Mo	0,20±0,03	1,3	$\frac{0,30 \pm 0,04}{0,22 \pm 0,03}$	2,9	$\frac{0,39 \pm 0,06}{0,32 \pm 0,05}$	2,9
Co	0,14±0,02	0,90	$\frac{0,13 \pm 0,02}{0,24 \pm 0,05}$	2,2	$\frac{0,20 \pm 0,03}{0,34 \pm 0,06}$	2,2
Zn	23,3±3,2	148	$\frac{19,9 \pm 2,76}{27,6 \pm 3,83}$	284	$\frac{31,5 \pm 4,4}{40,4 \pm 5,6}$	301

стения оказывала доза 100 т навоза на гектар. Здесь содержание микроэлементов в урожае кукурузы снижалось на 25—30%.

Подобное действие органических удобрений связано с повышением биогенной аккумуляции микроэлементов и увеличением содержания гумуса. На существенную роль данного фактора указывают также другие исследователи (Зырин Н. Г. и др., 1972, 1973; Тома С. И., 1973; Якушевская И. В., 1973; Ковальский В. В. и др., 1984). Они отмечают особенно активную аккумуляцию микроэлементов в перегнойно-аккумулятивном горизонте почв.

Тормозящее действие органических удобрений на поступление микроэлементов в растения снижаются в последствии. Так, на второй год после внесения 50 т навоза на гектар оно практически не проявлялось, а 100 т/га колебалось в пределах 5,4—16,2%. Активная микробиологическая деятельность почв и минерализация органического вещества в процессе выращивания сельскохозяйственных культур приводят к освобождению химических элементов из малодоступного состояния. На третий год после внесения удобрений имеет место повышение содержания микроэлементов в урожае. Оно менее значительно при применении удобрений в дозе 50 т/га (в пределах 6,3—8,9%) и более существенно в более высокой дозе — 100 т/га (12,5—22,8%).

Однако, несмотря на разный характер закономерностей изменения содержания микроэлементов в растениях под действием органических удобрений, вынос элементов и в год их внесения, и в последующие годы был выше по сравнению с контрольным вариантом. Это связано с положительным влиянием органических удобрений на уро-

жай сельскохозяйственных культур, который увеличивался от дозы 50 т/га навоза в 1,4—1,8, а 100 т/га — в 1,8—2,8 раза. Вынос микроэлементов урожаем повышался соответственно в 1,3—1,8 и 1,7—2,3 раза.

Большой теоретический интерес и практическое значение представляет установление зависимости между химическим составом растений и почв под влиянием факторов их окультуривания. Одним из биогеохимических показателей, вскрывающих эту взаимосвязь, является коэффициент биологического поглощения (Кбп), характеризующий процентное отношение содержания микроэлементов в урожае к запасу их подвижных форм в пахотном горизонте почв (табл. 56).

Приведенные данные показывают, что разные сельскохозяйственные культуры в неодинаковой степени склонны к накоплению микроэлементов. Сравнительно высоким поглощением элементов характеризуются ячмень и озимая рожь. Многолетние травы хорошо накапливают бор, медь, марганец и молибден, а силосные мешанки — бор и цинк. Относительно слабым поглощением микроэлементов характеризуется кукуруза.

Таблица 56

Коэффициенты биологического поглощения микроэлементов растениями

Культуры	Кбп					
	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Силосные мешанки	1,10	0,35	0,45	0,35	0,025	4,5
Кукуруза (зеленая масса)	0,79	0,13	0,69	0,46	0,024	4,9
Многолетние травы	1,15	0,23	0,14	0,57	0,024	3,4
Ячмень	1,70	0,32	0,16	0,82	0,050	7,9
Озимая рожь	0,89	0,21	0,14	0,75	0,051	7,9

Разным уровнем поступления в растения характеризуются и отдельные микроэлементы. Так, коэффициенты биологического поглощения цинка и бора разными культурами соответственно составляют 3,4—7,9 и 0,79—1,7, что характеризует их как элементы сильного накопления. Плохо накапливаются молибден и медь (Кбп=соответственно 0,35—0,82 и 0,13—0,35). Марганец, и особенно кобальт, следует отнести к элементам очень слабого захвата (Кбп=0,45—0,16 и 0,025—0,051).

Если расположить элементы по величине Кбп, то получим ряд биологического поглощения микроэлементов разными сельскохозяй-

ственными культурами на дерново-подзолистых почвах: $Zn > B > Mo > Cu > Co > Mn$.

Производственная деятельность человека с высоким уровнем химизации земледелия оказывает существенное влияние на биологическую активность почв, уровни поступления микроэлементов в растения и их поглощение, что количественно выражается в изменении величин коэффициентов биологического поглощения элементов.

Известкование кислых почв в оптимальных дозах повышало величину коэффициента биологического поглощения бора силосными мешанками и многолетними травами соответственно до 1,34 и 1,78; меди — 0,43 и 0,36; марганца — 0,055 и 0,22; молибдена — 0,43 и 0,71; кобальта — 0,030 и 0,034; цинка — 5,1—5,7. Проведение известкования на дерново-подзолистых почвах позволяет повысить эффективность поглощения микроэлементов растениями в 1,2—1,7 раза.

Сравнение величин коэффициентов биологического поглощения микроэлементов разными сельскохозяйственными культурами при проведении комплекса агротехнических мероприятий позволяет количественно оценить влияние отдельных факторов на поступление элементов в растения. Подобный анализ проведен на трех культурах — кукурузе, ячмене и озимой ржи (величины Кбп приведены в скобках соответственно для каждой культуры) на дерново-подзолистой почве для наиболее оптимальных доз удобрений.

Ряд биологического поглощения микроэлементов при известковании имеет следующий вид: Zn (6,7; 9,7; 11,7); B (1,22; 2,31; 1,39); Mo (0,68; 1,0; 1,17); Cu (0,20; 0,41; 0,30); Mn (0,11; 0,21; 0,19); Co (0,039; 0,057; 0,085). На известкованном фоне рожь в большей степени накапливает цинк, молибден и кобальт, а ячмень — бор, медь и марганец. Низкими величинами Кбп отличается кукуруза.

При внесении фосфоритной муки биологический ряд микроэлементов принимает следующий вид: Zn (7,5; 10,8; 9,8); B (1,06; 2,04; 1,15); Co (0,034; 0,076; 0,072); Mo (0,65; 1,13; 1,05); Cu (0,18; 0,38; 0,25); Mn (0,10; 0,19; 0,16). Фосфоритование также усиливает поглощение микроэлементов растениями, при этом оно более высокое по всем микроэлементам у ячменя, менее значительное у ржи и минимальное у кукурузы. Величины Кбп по сравнению с контрольными вариантами выше в 1,2—1,5 раза, что также значительно, но несколько ниже, чем при известковании.

При внесении азотных удобрений значения Кбп микроэлементов изучаемыми культурами имели следующие величины: Zn (8,4; 14,8; 12,9); B (1,40; 2,77; 1,43); Mo (0,70; 1,36; 1,23); Cu (0,18; 0,49; 0,32); Mn (0,097; 0,25; 0,20); Co (0,036; 0,08; 0,078).

Под влиянием удобрений усиливается поглощение микроэлементов всеми культурами, однако оно более энергично по цинку, молиб-

дену, марганцу и кобальту у ячменя и ржи, а также по бору и меди у ячменя. Рожь слабо накапливает бор. Сравнительно низкие величины Кбп характерны для кукурузы. В целом уровень поглощения микроэлементов изучаемыми культурами под действием азотных удобрений повышался в 1,4—1,9 раза.

Под влиянием оптимальных доз фосфорных удобрений, внесенных в виде суперфосфата, ряд биологического поглощения микроэлементов тремя культурами приобретает следующий вид: Zn (8,0; 9,7; 10,6); B (1,08; 2,42; 1,21); Mo (0,61; 1,20; 1,09); Cu (0,19; 0,46; 0,29); Mn (0,10; 0,22; 0,18); Co (0,03; 0,08; 0,08). Более высоким накоплением цинка характеризуется рожь, а бора, молибдена и меди — ячмень. Уровень поглощения марганца и кобальта данными культурами близок по значениям. У всех трех культур величины Кбп выше, чем на контроле в 1,2—1,6 раза.

Аналогичная закономерность наблюдается и при внесении калийных удобрений, где подобный ряд характеризуется следующими величинами: Zn (8,3; 9,5; 14,3); B (1,27; 2,52; 1,55); Mo (0,92; 1,24; 1,13); Cu (0,19; 0,43; 0,34); Mn (0,094; 0,24; 0,19); Co (0,05; 0,08; 0,09).

По значениям Кбп и закономерностям их распределения внутри ряда он близок к ряду биологического поглощения микроэлементов под влиянием фосфорных удобрений и отличается от последнего несколько более высоким накоплением в растениях бора и молибдена, а также цинка и меди у ржи и кобальта у кукурузы. Однако по сравнению с другими вариантами здесь величины Кбп у ржи и кукурузы возрастают по сравнению с контрольными вариантами соответственно в 1,4—1,8 и 1,4—2,1 раза, а у ячменя — в количествах, соизмеримых с другими вариантами.

При внесении органических удобрений величины Кбп имели следующие значения: Zn (8,6; 7,4; 12,1); B (1,27; 3,03; 1,80); Mo (0,71; 1,25; 1,15); Cu (0,24; 0,51; 0,34); Mn (0,12; 0,23; 0,20); Co (0,079; 0,042; 0,072).

Органические удобрения в последствии значительно усиливают поглощение микроэлементов растениями. По сравнению с контрольными вариантами поступление микроэлементов в растения возрастает в 1,4—2 раза, причем более значительно у кукурузы и ржи, меньше — у ячменя.

Систематический учет количества микроэлементов, поступающих в почву при проведении различных агрохимических мероприятий, и ежегодных уровней их потерь в условиях интенсивной мелиорации земель позволил вскрыть закономерности баланса микроэлементов в земледелии области (табл. 57).

Расчеты, проведенные по усредненным данным, свидетельствуют о положительном балансе в почвах бора, меди и марганца и отрицательном — молибдена, кобальта и цинка. Познание закономерностей баланса микроэлементов в земледелии дает возможность не только

**Баланс микроэлементов в земледелии
Калининградской области, г/га**

Показатели	B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Поступление:						
с органическими удобрениями	31	40	380	1,6	2,0	240
с известью	3,5	4,5	70	0,4	0,2	15
с минеральными удобрениями	0,6	2,6	125	0,08	0,16	14
с микроудобрениями	6	18	1	1,0	0,04	0,3
<i>Всего:</i>	41,1	65,1	576	3,08	2,4	269,3
Расход:						
вынос с урожаем	35	40	270	2,1	1,04	110
вымывание	4	22	300	1,0	1,5	200
<i>Всего:</i>	39	62	570	3,1	2,54	310
Баланс±	+2,1	+3,1	+6	-0,02	-0,14	-40,7

контролировать средний уровень фактического их содержания в почвах, но и составить прогноз изменения микроэлементного состава почв на перспективу и на этой основе осуществлять научно обоснованное применение средств химизации и микроудобрений.

Данные по расчету баланса микроэлементов подтверждаются результатами анализа изменения их содержания в почвах региона за последние 25 лет (табл. 58).

Таблица 58

Динамика обеспеченности почв микроэлементами за 25 лет, %

Элемент	Степень обеспеченности							
	низкая		средняя		повышенная		высокая	
	1969	1994	1969	1994	1969	1994	1969	1994
B	17,5	2,5	45,2	42,0	30,5	41,6	6,8	13,9
Cu	16,6	7,8	45,3	42,8	33,6	40,3	4,5	9,1
Mn	0,1	0,1	16,3	13,5	71,8	74,4	11,8	12,0
Mo	93,4	99,5	5,8	0,5	0,5	—	0,3	—
Co	53,5	66,0	45,6	34,0	0,9	—	—	—
Zn	57,2	66,4	34,5	33,4	7,4	0,2	0,9	—

Фактические данные показывают, что за 25 лет площади почв с недостаточной обеспеченностью бором снизились на 18,2%, медью — 11,3%, марганцем — 2,8%, а молибденом, кобальтом и цинком —

возросли соответственно на 0,8; 0,9 и 8,1%. Таким образом, почв, нуждающихся в дополнительном внесении борных удобрений, — 44,5%, медных — 50,6%, марганцевых — 13,6% и практически все почвы имеют недоступную обеспеченность молибденом, кобальтом и цинком.

Эти данные с учетом прогноза их изменения на перспективу позволили определить потребность земледелия области в микроудобрениях и наметить мероприятия, позволяющие уменьшить имеющийся дефицит микроэлементов.

Ежегодная потребность в микроудобрениях для области с учетом предпосевного смачивания семян сельскохозяйственных культур следующая, в т: борной кислоты — 6, сульфата меди — 15, молибденово-кислого аммония — 12, сернокислого цинка — 20 и сернокислого кобальта — 11.

6. Вариационно-статистическое моделирование закономерностей распределения микроэлементов в почвах

Изучение явлений природы, в том числе и почвенных процессов, на современном уровне невозможно без применения математических методов исследования, позволяющих более глубоко понять взаимосвязь процессов и закономерностей. Эти методы открывают исключительно огромные возможности не только для обработки эмпирических данных, но и в целом для постановки и планирования по-новому экспериментов, моделирования и прогнозирования сложных процессов (Гнеденко Б. В., 1969; Галицкий В. В. и др., 1974; Ковда В. А., 1979).

Вариационно-статистические методы в почвоведении и агрохимии используются давно в связи с оценкой достоверности экспериментальных данных и более объективным выбором объектов и методов анализа, а также при агрохимических исследованиях почв и обработке данных полевых опытов. Они позволяют оценить степень пространственного варьирования агрохимических показателей при изучении взаимосвязей свойств почв с окружающей средой при поиске оптимальных условий возделывания сельскохозяйственных культур (Барбалис П. Д., 1970; Важенин И. Г., 1976; Дмитриев Е. А., 1972, 1980).

Почва — своеобразная, саморегулирующая система — продукт воздействия многих факторов, в том числе климата, растительности, техногенного воздействия человека и поэтому обладает большой как вертикальной, так и горизонтальной неоднородностью. Определение в почве любого показателя является в известной степени случайной величиной, оценка которой может иметь только вероятностный характер (Крупеников И. А. и др., 1974). Поэтому применение вариационно-статистических

методов при изучении объектов биосферы (почв, растений, вод и т. д.) позволяет извлекать из наблюдений максимально возможную информацию, которой можно придать точную математическую формулировку, что делает наши выводы более полными и объективными.

Одним из важнейших инструментов познания на современном этапе является моделирование. При этом модели могут быть выражены словесно, графически, математически или другими способами. Графические способы являются наглядным выражением процессов и закономерностей взаимосвязи явлений. Математическая модель наиболее точно выражает эту взаимосвязь в виде уравнения или системы уравнений, параметры которых отражают количественные соотношения основных факторов движущих сил объекта.

В агрохимии и почвоведении в моделирование входит построение вероятностно-статистических моделей вещественного состава, характеризующих комплекс доверительных интервалов содержания механических фракций, гумуса, элементов питания и др., а также корреляционных и регрессионных моделей зависимостей между свойствами почв, почвой и растением и т. п.

Анализ фракций распределения агрохимических показателей и содержания валовых и подвижных форм микроэлементов показал, что в преобладающих разновидностях основных типов почв области они распределяются по нормальному (гауссовскому) закону. Распределение почвенных показателей вполне однозначно задается двумя величинами: средней арифметической ($\bar{x}$) и дисперсией (S^2).

Для функций с небольшой выборкой ($n > 50$) средняя арифметическая определялась по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n},$$

где $\sum x$ — сумма значений генеральной совокупности;
 n — число наблюдений;

$$\text{дисперсия} — S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1},$$

где $\sum (x - \bar{x})^2$ — сумма квадратов отклонений (Вольф В. Г., 1966).

При большой выборке ($n > 50$) применен табличный способ вычисления арифметического среднего и дисперсии (Дюерфель К., 1969):

$$\bar{x} = \bar{x}_a + \frac{d}{n} \cdot p,$$

где $\bar{x}_a$ — принятое среднее значение (при середине классов — класс $m=0$);
 d — ширина класса;

p — множитель, определяющий как $\sum m \cdot h_m$ (т. е. произведение номера класса на число повторяющихся признаков).

$$S^2 = \frac{d}{n-1} [Q - \frac{p^2}{n}],$$

где $Q = \sum m^2 \cdot h m$;

средняя квадратическая ошибка $S = \sqrt{S^2}$;

коэффициент вариации $V = \frac{S}{x} \cdot 100$;

относительная ошибка средней $S\bar{x} = \frac{S}{\sqrt{n}}$, а процент ее

$$S\bar{x}\% = \frac{S\bar{x}}{x} \cdot 100.$$

Закономерности функций распределения позволяют в корреляционном моделировании при изучении зависимостей между отдельными почвенными показателями теоретически обоснованно использовать обычные формулы расчета коэффициента корреляции:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \cdot \sum y^2}},$$

где r — коэффициент корреляции;

$\sum xy$ — сумма произведений отклонений $(x - \bar{x})$ и $(y - \bar{y})$ от своих средних;
 $\sum x^2$ и $\sum y^2$ — средние квадратические отклонения распределений x и y .

Квадратичная ошибка коэффициента корреляции вычислялась по формуле:

$$Sr = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}} \quad \text{или} \quad Sr = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} \quad \text{для многочисленной совокупности.}$$

Оценка существенности коэффициента корреляции определялась по формуле:

$$t_{\phi} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{или} \quad t_{\phi} = \frac{r\sqrt{n}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Величины $t_{\text{табл}}$ для множественной совокупности находили по корреляционным таблицам (Снедекор Дж. У., 1961).

Для случаев тесной или средней степени тесноты корреляционной связи с помощью «Пакета научных подпрограмм на Фортране» получены уравнения множественной регрессии для каждого микроэлемента.

В программу включен расчет следующих величин:

а) коэффициент регрессии $\beta_j = \sum_{i=1}^k r_{iy} \cdot r_{ij}^{-1}$,

где r_{iy} — корреляция между членами совокупности i — независимой переменной с зависимой;

r_{ij} — обратная величина корреляции между членами совокупности;

б) коэффициент множественной корреляции $R^2 = \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot r_{iy}$;

в) регрессионная сумма квадратов $SSAR = R^2 \cdot D_{yy}$,

где D_{yy} — сумма квадратов отклонений от среднего значения для зависимой переменной;

г) сумма квадратов отклонений от регрессии $SSDR = D_{yy} - SSAR$;

д) F — значение для анализа дисперсий $F = \frac{SSAR(n-k-1)}{SSDR(k)}$;

е) дисперсия и стандартное отклонение ошибки оценки

$$S^2_{y,1,2...k} = \frac{SSDR}{n-k-1};$$

ж) стандартное отклонение коэффициентов регрессии

$$S_{bj} = \sqrt{\frac{\sum_{ij}^2}{D_{ij}}} S^2_{y,1,2...k},$$

где D_{ij} — сумма квадратов отклонений от среднего для j -й независимой переменной;

з) t — критерий $t_j = \frac{b_j}{S_{bj}}$,

где $b_j = \beta_j \cdot \frac{S_y}{S_j}$.

В уравнения множественной регрессии включены:

y — зависимая переменная для каждого микроэлемента;

x — независимые переменные, где:

x_1 — физическая глина;

x_2 — гумус;

x_3 — обменная кислотность;

x_4 — гидролитическая кислотность;

x_5 — сумма обменных оснований;

x_6 — степень насыщенности основаниями;

x_7 — подвижный фосфор;

x_8 — обменный калий;

x_9 — бор;

x_{10} — медь;

x_{11} — марганец;

x_{12} — молибден;

x_{13} — кобальт;

x_{14} — цинк.

Оценка уравнений проведена методом пошаговой регрессии и отсевом факторов, оказывающих незначительное влияние на содержание микроэлементов в почвах. Фактические значения F и t — критериев сопоставлены с табличными, которые при уровне $P_{0.05}$ соответственно равнялись 2,18 и 2,58. Это позволило получить достоверную с

высоким уровнем существенности информацию о главных факторах, определяющих содержание микроэлементов в почвах.

Корреляционные ассоциации и модели уравнений регрессии микроэлементов

Взаимосвязь между зависимыми явлениями может быть правильно оценена только с помощью расчета коэффициентов корреляции и регрессии. Этот метод широко используется при изучении закономерностей распределения микроэлементов (Тонконоженко Е. В., 1969; Лупинович И. С., 1970, 1973; Зырин Н. Г., Пацукевич З. И., 1972, 1973; Большаков В. А., Зырин Н. Г., 1973; Ильин В. Б., 1970, 1982). Однако корреляционных связей в почвах и их причинная интерпретация представляют большую сложность и в настоящее время недостаточно разработаны.

Количественная мера зависимости между содержанием микроэлементов и агрохимическими свойствами почв может быть выражена посредством построения эмпирических линий регрессии и расчета уравнений регрессии. По усредненным величинам содержания микроэлементов и количественным значениям отдельных агрохимических показателей построены эмпирические линии регрессии, общий ход которых свидетельствует о близкой к прямолинейной зависимости между данными величинами.

Обобщение результатов собственных исследований и литературных данных свидетельствует прежде всего о сложности изучаемых процессов поведения подвижности форм микроэлементов в почвах. Содержание последних в почвах — это интегрирующий результат влияния ряда факторов и условий, которые в различных почвах складываются по особому и приводят к получению различных по значению корреляционных связей. Поэтому большой теоретический интерес и практическое значение имеет установление того, какие же факторы почвенной среды (гранулометрический состав, содержание гумуса, реакция среды и т. д.) влияют на поведение микроэлементов в почвах, какие из них являются ведущими, основными. Нахождение этих основных факторов позволяет построить более информативные и полные вариационно-статистические модели почвенных зависимостей для каждого отдельного микроэлемента.

Б о р. Полученный нами экспериментальный материал (см. табл. 59) показал наличие достоверной положительной зависимости между содержанием водорастворимого бора и гранулометрическим составом, количеством гумуса и величиной рН, а также между элементом и тесно связанными с рН показателями среды, прежде всего, с суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности основаниями. Подобная закономерность нарушается в торфяных почвах, отличающихся спецификой водного режима, окислительно-восстановительных условий и другими особенностями. В данных почвах связь между бором и обменной кислотностью, а также суммой поглощенных оснований обратная средней степени тесноты.

Корреляционные ряды и модели регрессии между содержанием подвижности бора и агрохимическими свойствами почв

Показатель	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$r \pm Sr$	$t\phi$	$x = x_0 + b(y - \bar{y})$	A
Дерново-подзолистые почвы						
Физ. глина	0,40	13,8	$0,42 \pm 0,02$	20,1	$0,29 + 0,008 y$	2,0
Гумус	0,39	3,0	$0,39 \pm 0,02$	18,7	$0,28 + 0,0375 y$	9,6
pH	0,36	5,25	$0,42 \pm 0,02$	20,6	$-0,08 + 0,084 y$	22,2
H	0,36	3,25	$-0,27 \pm 0,02$	12,9	$0,45 - 0,0275 y$	8,3
S	0,43	20	$0,52 \pm 0,02$	27,1	$0,27 + 0,0082 y$	2,0
V	0,32	70	$0,39 - 0,02$	19,5	$0,005 + 0,0045 y$	1,4
Дерновые почвы						
Физ. глина	0,56	13,8	$0,51 \pm 0,03$	13,8	$0,46 + 0,0074 y$	1,3
Гумус	0,60	3,0	$0,65 \pm 0,02$	20,7	$0,29 + 0,104 y$	17,3
pH	0,59	5,25	$0,57 \pm 0,03$	16,7	$0,14 + 0,086 y$	15,3
H	0,57	4,2	$-0,24 \pm 0,04$	6,1	$0,65 + 0,0193 y$	3,5
S	0,62	25	$0,60 \pm 0,03$	19,0	$0,28 + 0,0134 y$	2,1
V	0,54	80	$0,37 \pm 0,03$	10,0	$-0,10 + 0,008 y$	1,5
Аллювиальные почвы						
Физ. глина	0,78	13,8	$0,40 \pm 0,06$	6,2	$0,60 + 0,0129 y$	1,7
Гумус	0,87	10,0	$0,41 \pm 0,05$	7,0	$9,60 + 0,0266 y$	3,0
pH	0,92	5,25	$0,59 \pm 0,04$	11,8	$-0,57 + 0,298 y$	32,6
H	0,88	4,2	$-0,30 \pm 0,06$	4,8	$0,99 + 0,0262 y$	2,8
S	0,84	30	$0,40 \pm 0,05$	6,9	$0,2 + 0,02 y$	2,4
V	0,87	70	$0,45 \pm 0,05$	7,7	$0,21 + 0,0082 y$	0,9
Осушаемые торфяные почвы						
Орган. в-во	0,93	15,0	$0,29 \pm 0,06$	4,8	$0,64 + 0,0195 y$	2,1
pH	0,97	5,0	$-0,55 \pm 0,04$	10,6	$1,9 - 0,186 y$	18,6
H	0,98	3,25	$0,53 \pm 0,04$	10,2	$0,79 + 0,0598 y$	6,1
S	0,96	60	$-0,47 \pm 0,05$	8,7	$1,19 - 0,004 y$	0,4
V	0,99	75	$0,44 \pm 0,06$	6,5	$-0,17 + 0,0155 y$	1,7

Примечания: $\bar{x}$ — содержание микроэлемента при заданном агрохимическом показателе, мг/кг;
 $\bar{y}$ — средняя величина агрохимического показателя;
 r — коэффициент корреляции;
 Sr — ошибка коэффициента корреляции;

*t_ф — фактическое значение t - критерия;
 A — уровень изменения содержания микроэлемента
 в почвах при изменении агрохимического пока-
 зателя на единицу отн. %*

Отдельные агрохимические факторы оказывают неодинаковое дей-
 ствие на направление и степень тесноты корреляционных связей во-
 дорастворимого бора со свойствами разных типов почв. В дерново-под-
 золистых почвах корреляция существенная между элементом и сум-
 мой поглощенных оснований. Поэтому при построении вероятност-
 но-статистических моделей, отражающих разнообразные взаимосвя-
 зи почвенных характеристик с реакцией среды, целесообразно ис-
 пользовать данный показатель, как наиболее существенно отражаю-
 щий зависимость содержания бора от почвенной кислотности.

В дерновых почвах связь существенна между водорастворимым бо-
 ром и суммой поглощенных оснований, гранулометрическим соста-
 вом, гумусом и обменной кислотностью. Здесь при построении вари-
 ационно-статистических моделей вполне достаточно использовать
 один из этих показателей.

В аллювиальных почвах корреляция средней степени тесноты име-
 ет место между бором и pH, а в торфяных — между элементом и как
 обменной, так и гидролитической кислотностью, причем в послед-
 них связь с обменной кислотностью обратная.

Общей закономерностью поведения водорастворимого бора в раз-
 ных типах почв является его наиболее существенная корреляция с
 содержанием физической глины ($r=0,58$) и гумуса ($r=0,53$), а также с
 гидролитической кислотностью и степенью насыщенности основани-
 ями. Данный вывод подтверждается уравнением множественной рег-
 ресии для данного элемента, которое имеет следующий вид:

$$Y_{\text{б}} = -0,44 + 0,00472x_1 + 0,0487x_2 + 0,271x_{14} + 0,00182x_{11} + 0,0059x_6 + 0,0385x_4.$$

$$t_{\text{ф}} = \begin{matrix} & 4,49 & 4,17 & 4,33 & 3,91 & 3,88 & 2,59 \end{matrix}$$

При этом коэффициент множественной регрессии сравнительно вы-
 сок ($R=0,67$) при $F_{\text{факт}}=42,3$, что свидетельствует о правомерности
 приведенного уравнения. Оно является универсальным и может быть
 принято в качестве модели, определяющей уровень содержания мик-
 роэлемента в разных типах почв, различающихся по своим свойствам.

М е дь. Переменная валентность меди (Cu^{+1} и Cu^{+2}) определяет боль-
 шое влияние окислительно-восстановительных условий на ее миграцию. С
 другой стороны, способность меди как d-элемента к комплексообразова-
 нию обуславливает возможность образования комплексных соединений
 микроэлемента с органическими и минеральными веществами почвы. Это
 усиливает влияние гранулометрического состава и содержания гумуса на

концентрацию и подвижность меди в почвах. Доступность меди растениям и ее подвижность в значительной мере определяются также реакцией среды.

Данные о закономерностях корреляционных связей и регрессии меди в зависимости от агрохимических свойств разных типов почв представлены в таблице 60.

Таблица 60

Корреляционные ряды и модели регрессии между содержанием подвижной меди и агрохимическими свойствами почв

Показатель	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$r \pm Sr$	t_{ϕ}	$x = x_0 + b(y - \bar{y})$	A
Дерново-подзолистые почвы						
Физ. глина	2,7	13,8	$0,52 \pm 0,02$	27,3	$2,0 + 0,0513 y$	1,9
Гумус	2,8	3,0	$0,35 \pm 0,02$	16,5	$1,89 + 0,3 y$	10,8
pH	2,6	5,25	$0,52 \pm 0,02$	27,2	$-0,74 + 0,632 y$	24,5
H	2,7	3,25	$-0,23 \pm 0,02$	10,4	$3,36 - 0,2086 y$	7,8
S	2,9	20	$0,65 \pm 0,01$	38,5	$1,39 + 0,1 y$	3,5
V	2,3	70	$0,58 \pm 0,01$	31,9	$-0,08 + 0,0333 y$	1,5
Дерновые почвы						
Физ. глина	4,7	13,8	$0,77 \pm 0,03$	30,2	$2,51 + 0,16 y$	3,4
Гумус	5,4	3,0	$0,85 \pm 0,01$	37,9	$1,18 + 1,397 y$	26,0
pH	4,9	5,25	$-0,51 \pm 0,03$	14,3	$3,61 - 0,896 y$	18,2
H	5,2	4,2	$0,74 \pm 0,02$	28,1	$3,78 + 0,34 y$	6,5
S	5,3	25	$0,78 \pm 0,02$	31,0	$2,08 + 0,13 y$	2,4
V	4,6	80	$0,22 \pm 0,04$	5,4	$-3,45 + 0,10 y$	2,2
Аллювиальные почвы						
Физ. глина	7,8	13,8	$0,62 \pm 0,04$	10,5	$5,74 + 0,15 y$	1,9
Гумус	8,7	10,0	$0,48 \pm 0,05$	8,1	$6,35 + 0,233 y$	2,7
pH	8,5	5,25	$-0,24 \pm 0,06$	4,0	$11,03 - 0,492 y$	5,8
H	8,6	4,2	$0,51 \pm 0,05$	8,9	$6,05 + 0,6 y$	7,0
S	8,6	30	$0,20 \pm 0,06$	3,2	$3,91 + 0,1555 y$	1,8
V	9,0	80	$-0,39 \pm 0,05$	6,9	$13,34 - 0,0508 y$	0,6
Осушаемые торфяные почвы						
Орган. в-во	7,7	15,0	$0,34 \pm 0,06$	5,1	$5,58 + 0,14 y$	1,8
pH	7,8	5,0	$-0,45 \pm 0,05$	7,9	$14,32 - 1,314 y$	17,0
H	8,1	3,25	$0,40 \pm 0,05$	7,2	$6,66 + 0,44 y$	5,4
S	8,0	60	$-0,17 \pm 0,06$	2,7	$9,62 - 0,0278 y$	0,3
V	8,5	75	$-0,37 \pm 0,05$	7,0	$13,79 - 0,0656 y$	0,8

Направление и степень тесноты связей микроэлемента с отдельными агрохимическими показателями в изучаемых почвах неодинаковые и определяются специфическими особенностями каждого почвенного типа. Так, в дерново-подзолистых почвах слабая отрицательная корреляция имеет место между гидролитической кислотностью и подвижной медью, а в дерновых, аллювиальных и торфяных — между обменной кислотностью и содержанием микроэлемента. Кроме того, в аллювиальных почвах медь отрицательно коррелирует со степенью насыщенности основаниями, а в осушаемых торфяных — суммой обменных оснований и степенью насыщенности основаниями.

В дерново-подзолистых почвах существенна связь между концентрацией меди и агрохимическими показателями — гранулометрическим составом, обменной кислотностью, суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности основаниями, — выражающаяся в положительной корреляции средней степени тесноты. Более слабая связь в данных почвах проявляется между содержанием микроэлемента и количеством гумуса.

В более высокогумусированных дерновых почвах тесная положительная корреляция проявляется между количеством меди и содержанием гумуса, а также физической глины. Это свидетельствует о высокой биогенной активности элемента в условиях развития дернового процесса. Подобная закономерность для меди в данных почвах проявляется также в зависимости от гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований, что подчеркивает значительное влияние реакции среды на содержание и подвижность микроэлемента.

В аллювиальных почвах корреляционная связь между содержанием подвижной меди и гранулометрическим составом, а также гидролитической кислотностью положительная средней степени тесноты. С остальными агрохимическими показателями рассматриваемых почв медь коррелирует менее существенно. Не получена достоверная устойчивая корреляция между микроэлементом и агрохимическими свойствами осушаемых торфяных почв, что, во-видимому, связано со спецификой формирования последних, преимущественно восстановленными условиями окислительно-восстановительного режима, слабой подвижностью меди и малым ее запасом в пахотном слое.

В целом в почвах области корреляционная связь подвижных форм меди существенна лишь с содержанием физической глины ($r=0,71$), гумуса ($r=0,62$) и суммой обменных оснований ($r=0,54$). Уравнение множественной регрессии для меди имеет следующий вид:

$$Y_{Cu} = 0,689 + 0,0204x_1 + 0,0229x_5 + 0,00603x_{11} + 0,163x_2 + 0,722x_{14} + 0,258x_{13},$$

$$t_{\phi} = \begin{matrix} 6,68 & 5,89 & 4,91 & 5,67 & 4,43 & 2,85 \end{matrix}$$

при $R=0,79$ и $F_{факт.}=87,8$.

Марганец. Марганец является элементом, характеризующимся высокой подвижностью (около 30%) и вариабельностью. Динамичность элемента определяется типом почвы, характером окислительно-восстановительных условий, реакцией среды, окультуренностью почв и другими признаками. Поэтому действие отдельных агрохимических факторов на концентрацию и подвижность марганца в разных типах почв специфично.

В таблице 61 представлены закономерности корреляционных связей между содержанием микроэлемента и агрохимическими свойствами основных типов почв области.

Таблица 61

Корреляционные ряды и модели регрессии между содержанием подвижного марганца и агрохимическими свойствами почв

Показатель	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$r \pm Sr$	$t\phi$	$x = x_0 + b(y - \bar{y})$	A
Дерново-подзолистые почвы						
Физ. глина	65	13,8	$0,61 \pm 0,02$	14,6	$58,2 + 0,51 y$	0,7
Гумус	65	3,0	$-0,036 \pm 0,02$	17,2	$73,6 - 3,025 y$	4,6
pH	64	5,25	$0,27 \pm 0,02$	12,5	$47,0 + 2,32 y$	5,1
H	62	3,25	$-0,33 \pm 0,02$	15,6	$75,5 - 4,23 y$	6,8
S	64	20	$-0,33 \pm 0,02$	14,8	$66,0 - 0,09 y$	0,1
V	61	70	$0,22 \pm 0,02$	10,3	$41,9 + 0,2745 y$	0,5
Дерновые почвы						
Физ. глина	73	13,8	$0,63 \pm 0,04$	8,1	$52,1 + 1,52 y$	2,0
Гумус	76	3,0	$-0,53 \pm 0,03$	14,4	$77,9 - 0,71 y$	0,9
pH	78	5,25	$0,66 \pm 0,02$	20,9	$-3,79 + 15,56 y$	19,9
H	73	4,2	$-0,68 \pm 0,02$	22,4	$92,9 - 4,76 y$	6,5
S	82	25	$0,49 \pm 0,03$	14,6	$43,6 + 1,54 y$	1,8
V	74	80	$0,65 \pm 0,02$	21,5	$-18,5 + 1,155 y$	1,6
Аллювиальные почвы						
Физ. глина	58	13,8	$0,62 \pm 0,06$	5,2	$44,0 + 1,03 y$	1,7
Гумус	63	10,0	$-0,34 \pm 0,06$	5,6	$68,0 - 0,5 y$	0,7
pH	81	5,25	$0,62 \pm 0,04$	12,2	$-69,2 + 28,6 y$	35,3
H	73	4,2	$-0,41 \pm 0,05$	6,8	$94,3 - 5,08 y$	6,9
S	65	30	$0,56 \pm 0,04$	10,6	$19,6 + 1,5 y$	2,3
V	73	80	$0,62 \pm 0,04$	12,1	$-35,9 + 1,356 y$	1,9
Осушаемые торфяные почвы						
Орган. в-во	60	15,0	$-0,37 \pm 0,06$	6,2	$66,5 - 0,44 y$	0,7
pH	55	5,0	$0,29 \pm 0,06$	4,9	$32,6 + 4,48 y$	8,1
H	58	3,25	$-0,50 \pm 0,05$	9,1	$66,5 - 3,6 y$	6,2
S	58	60	$-0,48 \pm 0,05$	8,7	$66,9 - 0,1535 y$	0,3
V	56	75	$-0,34 \pm 0,06$	5,7	$124,5 - 0,92 y$	1,6

Общей закономерностью для всех рассматриваемых типов почв является наличие тесной положительной корреляции содержания марганца и физической глины ($r=0,60$), а также средней степени тесноты — с гумусом и суммой обменных оснований. Связь элемента с величиной гидролитической кислотности обратная слабая. Характеристика уравнения множественной регрессии —

$$Y_{\text{Мп}} = 31,4 + 0,43x_1 + 6,01x_{10} + 11,8x_9 + 9,56x_{13},$$

$$t_{\text{факт.}} \quad 4,67 \quad 5,71 \quad 4,10 \quad 3,48$$

($R=0,654$, $F_{\text{факт.}}=40,4$) подтверждает сделанный ранее вывод о преимущественном влиянии на содержание подвижного марганца в почвах их гранулометрического состава.

В дерново-подзолистых почвах не удалось установить достоверную корреляционную связь между содержанием марганца и агрохимическими параметрами, за исключением гранулометрического состава. Анализ регрессии элемента свидетельствует о том, что на концентрацию и подвижность его в данных почвах оказывает также заметное влияние изменение содержания гумуса, обменной и гидролитической кислотности.

В дерновых и аллювиальных почвах существенная положительная корреляция марганца средней степени тесноты имеет место с обменной кислотностью, суммой обменных оснований, степенью насыщенности основаниями и гранулометрическим составом. Однако, согласно уравнению регрессии, преобладающее действие оказывает обменная кислотность. Поэтому при построении вариационно-статистических моделей зависимости содержания марганца от реакции среды целесообразно использовать статистические параметры изменения рН.

Для осушаемых торфяных почв характерно наличие обратной корреляционной связи, близкой к средней степени тесноты между микроэлементом и величинами гидролитической кислотности, а также суммы поглощенных оснований. Связь концентрации элемента с другими агрохимическими показателями менее достоверна и неустойчива.

Молибден. Молибден в почвах содержится преимущественно в форме аниона MoO_4^{2-} , который может присутствовать в составе первичных и вторичных минералов, глинистых и коллоидных окислов железа и алюминия, в соединении с органическим веществом и в незначительном количестве в водорастворимой форме в почвенном растворе. С насыщением перегнойных кислот кальцием и минерализацией коллоидов растворимость микроэлемента в почвах возрастает. С другой стороны, молибден может образовывать с кальцием и тяжелыми металлами труднорастворимые молибдаты, что приводит к снижению подвижности элемента (Виноградов А. П., 1957; Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970; Пейве Я. В., 1980). На концентрацию и подвиж-

ность молибдена в почвах оказывает влияние комплекс факторов, главными из которых являются содержание гумуса, реакция среды и насыщенность основаниями (табл. 62).

Таблица 62

Корреляционные ряды и модели регрессии между содержанием подвижного молибдена и агрохимическими свойствами почв

Показатель	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$r \pm Sr$	$t\phi$	$x = x_0 + b(y - \bar{y})$	A
Дерново-подзолистые почвы						
Физ. глина	0,061	13,8	$-0,37 \pm 0,02$	17,7	$0,109 - 0,0035 y$	5,7
Гумус	0,062	3,0	$-0,70 \pm 0,01$	43,8	$0,076 - 0,0045 y$	7,3
pH	0,063	5,25	$-0,69 \pm 0,01$	42,9	$0,116 - 0,01 y$	15,9
H	0,065	3,25	$0,38 \pm 0,02$	18,5	$0,055 + 0,003 y$	4,6
S	0,058	20	$-0,62 \pm 0,01$	35,9	$0,072 - 0,00072 y$	1,2
V	0,066	70	$-0,57 \pm 0,01$	31,7	$0,088 - 0,00031 y$	0,5
Дерновые почвы						
Физ. глина	0,053	13,8	$0,29 \pm 0,04$	7,7	$0,014 + 0,0028 y$	5,3
Гумус	0,056	3,0	$-0,73 \pm 0,02$	24,8	$0,075 - 0,0064 y$	11,1
pH	0,053	5,25	$-0,70 \pm 0,02$	25,6	$0,115 - 0,0118 y$	22,3
H	0,061	4,2	$0,35 \pm 0,03$	9,6	$0,051 + 0,0024 y$	3,9
S	0,056	25	$-0,62 \pm 0,02$	19,9	$0,07 - 0,00057 y$	1,0
V	0,059	80	$-0,53 \pm 0,03$	16,1	$0,085 - 0,000325 y$	0,6
Аллювиальные почвы						
Физ. глина	0,049	13,8	$0,31 \pm 0,04$	4,8	$0,091 - 0,003 y$	6,1
Гумус	0,049	10,0	$0,62 \pm 0,04$	13,3	$0,047 + 0,0002 y$	0,4
pH	0,044	5,25	$-0,71 \pm 0,03$	17,1	$0,093 - 0,0094 y$	21,4
H	0,047	4,2	$0,70 \pm 0,03$	15,8	$0,036 + 0,0025 y$	5,3
S	0,049	30	$-0,53 \pm 0,04$	10,8	$0,061 - 0,00041 y$	0,8
V	0,046	80	$-0,72 \pm 0,03$	17,5	$0,096 - 0,00063 y$	1,4
Осушаемые торфяные почвы						
Орган. в-во	0,044	15,0	$0,45 \pm 0,04$	11,1	$0,035 + 0,00044 y$	1,0
pH	0,048	5,0	$0,22 \pm 0,06$	3,8	$0,009 + 0,0078 y$	16,3
H	0,050	3,25	$-0,75 \pm 0,03$	18,3	$0,056 - 0,002 y$	4,0
S	0,047	60	$0,49 \pm 0,05$	9,4	$0,037 + 0,00016 y$	0,3
V	0,046	75	$-0,37 \pm 0,05$	6,7	$0,057 - 0,00015 y$	0,3

Степень влияния и направление корреляционных связей между содержанием молибдена и агрохимическими показателями почв неоди-

наковая. Слабая и неустойчивая зависимость между концентрацией элемента и гранулометрическим составом почв, более тесная — с содержанием гумуса и реакцией среды. Действие отдельных агрохимических факторов на содержание и подвижность молибдена определяется специфическими условиями почвообразования различных почвенных типов.

В дерново-подзолистых и дерновых почвах связь между элементом и количеством гумуса обратная тесная. Увеличение количества органического вещества в аллювиальных и торфяных почвах изменяет направление данной связи, которая становится положительной средней степени тесноты. Неоднозначно направление корреляционной связи между содержанием подвижного молибдена и разными видами кислотности почв. В минеральных почвенных разновидностях она отрицательная в отношении обменной кислотности, а в торфяных — гидролитической. Общей закономерностью для всех основных типов почв является наличие отрицательной связи разной степени тесноты между количеством элемента и степенью насыщенности основаниями. Слабо коррелирует содержание элемента в данных почвах с механическим составом и гидролитической кислотностью. Близкая к средней степени тесноты связь элемента с гумусом и суммой обменных оснований.

Величины уровня изменения молибдена в почвах в зависимости от отдельных агрохимических показателей изменяются в сравнительно небольших пределах (в среднем от 0,044 до 0,063 мг/кг). В связи с этим в целом по почвам области не получено устойчивой зависимости содержания микроэлемента от свойств почв, т. е. эта зависимость слабая ($R=0,26$). Поэтому привести уравнение множественной регрессии для данного микроэлемента не представляется возможным.

К о б а л ь т. Важнейшим фактором, влияющим на содержание подвижного кобальта, является гранулометрический состав почв. Как отмечено в работе Дубиковского Г. П. (1973), определяющим фактором накопления кобальта в дерново-подзолистых почвах является содержание физической глины и в меньшей степени количество гумуса и реакция среды. Другие авторы (Лупинович И. С., 1973; Гюльяхмедов А. Н., 1980; Гамзиков Г. П., 1982) наблюдали довольно тесную связь между содержанием гумуса, реакцией среды и изменением концентрации подвижного кобальта. Многообразие природных условий, влияющих на миграцию микроэлемента в почвах, находит свое проявление в противоречивости выводов, получаемых разными авторами. Совершенствование методов исследования, и особенно методов искусственного моделирования почвенных условий, позволяет получить более строгие закономерности поведения элемента в зависимости от различных факторов, в том числе и от агрохимических показателей.

Наши исследования показали разнообразие форм, направлений и закономерностей связей между концентрацией кобальта и агрохими-

ческими свойствами почв (табл. 63). Общей закономерностью для минеральных разновидностей почв является наличие положительной корреляции разной степени тесноты между содержанием кобальта и гранулометрическим составом, количеством гумуса, суммой обменных оснований и степенью насыщенности основаниями. Общая зако-

Таблица 63

Корреляционные ряды и модели регрессии между содержанием подвижного кобальта и агрохимическими свойствами почв

Показатель	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$r \pm Sr$	$t\phi$	$x = x_0 + b(y - \bar{y})$	A
Дерново-подзолистые почвы						
Физ. глина	0,86	13,8	$0,58 \pm 0,02$	31,9	$0,61 + 0,0179y$	2,1
Гумус	0,84	3,0	$0,28 \pm 0,02$	13,1	$0,74 + 0,0325y$	3,9
pH	0,83	5,25	$0,68 \pm 0,01$	41,7	$0,12 + 0,136y$	16,4
H	0,85	3,25	$-0,33 \pm 0,02$	15,9	$1,02 - 0,0527y$	6,2
S	0,99	20	$0,49 \pm 0,02$	25,8	$0,68 + 0,0155y$	1,6
V	0,78	70	$0,50 \pm 0,02$	26,0	$0,31 + 0,0067y$	0,9
Дерновые почвы						
Физ. глина	0,68	13,8	$0,65 \pm 0,03$	19,5	$0,40 + 0,02y$	2,9
Гумус	0,80	3,0	$0,84 \pm 0,01$	39,6	$0,2 + 0,2y$	25,0
pH	0,75	5,25	$-0,64 \pm 0,02$	21,1	$1,23 - 0,092y$	12,3
H	0,85	4,2	$0,55 \pm 0,03$	16,2	$0,47 + 0,09y$	10,6
S	0,85	25	$0,69 \pm 0,02$	24,2	$0,32 + 0,0212y$	2,5
V	0,72	80	$0,29 \pm 0,04$	7,8	$0,12 + 0,0075y$	1,0
Аллювиальные почвы						
Физ. глина	1,12	13,8	$0,42 \pm 0,06$	6,8	$0,65 + 0,034y$	3,0
Гумус	1,26	10,0	$0,43 \pm 0,05$	7,4	$0,96 - 0,03y$	2,4
pH	1,40	5,25	$0,41 \pm 0,05$	7,0	$0,3 + 0,21y$	15,0
H	1,34	4,2	$-0,24 \pm 0,06$	3,9	$1,5 - 0,038y$	2,8
S	1,25	30	$0,48 \pm 0,05$	8,6	$0,65 + 0,02y$	1,6
V	1,34	80	$0,47 \pm 0,05$	7,9	$0,20 + 0,0143y$	1,1
Осушаемые торфяные почвы						
Орган. в-во	1,27	15,0	$0,40 \pm 0,06$	6,7	$0,87 + 0,0265y$	2,1
pH	1,38	5,0	$-0,56 \pm 0,04$	10,7	$3,85 - 0,494y$	35,8
H	1,34	3,25	$0,52 \pm 0,04$	10,4	$0,96 + 0,116y$	8,7
S	1,38	60	$-0,46 \pm 0,05$	8,3	$1,91 - 0,00875y$	0,6
V	1,48	75	$-0,49 \pm 0,05$	10,3	$2,66 - 0,0148y$	1,0

номерность нарушается в направлении связи между элементом и разными формами почвенной кислотности — в дерново-подзолистых и аллювиальных почвах она отрицательная относительно гидролитической кислотности, а в дерновых — обменной.

В осушаемых торфяных почвах подвижный кобальт положительно коррелирует с содержанием органического вещества, гидролитической кислотностью и отрицательно — с обменной кислотностью, суммой обменных оснований и степенью насыщенности основаниями.

Характерным для дерново-подзолистых и дерновых почв является существование положительной корреляционной связи средней степени тесноты между содержанием кобальта и гранулометрическим составом. Менее существенная связь наблюдается в аллювиальных почвах.

В дерновых почвах, в связи с их более высокой гумусированностью, проявляется тесная положительная связь между количеством гумуса и микроэлемента, что менее существенно выражено в других типах почв.

Данные регрессионного анализа показывают, что на содержание подвижного кобальта в почвах в целом наиболее существенное влияние оказывает гранулометрический состав, что подтверждается уравнением множественной регрессии, имеющим следующий вид:

$$Y_{Co} = 0,747 + 0,0146x_1 + 0,234x_{14} + 0,0019x_{11} + 0,0446x_{10},$$

$$t_{\phi} = \begin{matrix} & 12,7 & 3,45 & 3,63 & 2,93 \end{matrix}$$

при $R=0,75$ и $F_{\text{факт.}}=70,3$.

Ц и н к. Цинк относится к элементам с весьма низкой подвижностью. Амфотерный характер элемента и способность к энергичному поглощению его почвенными коллоидами как в катионной ($Zn[Zn(NH_3)_4]^{+2}$), так и анионной ($[Zn(OH)_4]^{-2}$) форме способствуют закреплению элемента в почве и снижению доступности растениям. С другой стороны, способность цинка связываться с гумусовыми веществами (гуминовыми и фульвокислотами) с образованием малоподвижных соединений, также обуславливает дефицит элемента в почвах.

Содержание и подвижность цинка определяется реакцией среды, количеством гумуса и гранулометрическим составом почв (Вильгусевич И. П., Булгаков Н. П., 1960).

Однако специфические условия формирования и развития разных типов почв и особенности их химического и минералогического состава и свойств оказывают своеобразное действие на подвижность и концентрацию элемента (табл. 64).

Общей закономерностью в минеральных почвах является существование положительной корреляционной связи разной степени тесноты между содержанием подвижного цинка и гранулометрическим составом. Цинк в изучаемых почвах положительно коррелирует также с

количеством гумуса и степенью насыщенности основаниями. Более сложно определить содержание микроэлемента в зависимости от реакции среды и суммы поглощенных оснований. Так, в дерново-подзолистых и аллювиальных почвах цинк положительно коррелирует с обменной кислотностью, а в дерновых и торфяных эта связь обратная.

Таблица 64

Корреляционные ряды и модели регрессии между содержанием подвижности цинка и агрохимическими свойствами почв

Показатель	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$r \pm Sr$	tф	$x = x_0 + b(y - \bar{y})$	A
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
Физ. глина	0,59	13,8	$0,36 \pm 0,02$	37,2	$0,48 + 0,0077Y$	1,3
Гумус	0,60	3,0	$0,24 \pm 0,02$	11,0	$0,47 + 0,0425y$	7,1
pH	0,56	5,25	$0,34 \pm 0,02$	16,0	$0,23 + 0,062y$	11,1
H	0,56	3,25	$-0,26 \pm 0,02$	12,1	$0,58 - 0,0063y$	1,8
S	0,70	20	$0,51 \pm 0,02$	26,7	$0,36 + 0,0168y$	2,4
V	0,50	70	$0,42 \pm 0,02$	20,4	$0,17 + 0,0047y$	0,9
<i>Дерновые почвы</i>						
Физ. глина	1,29	13,8	$0,75 \pm 0,02$	27,4	$0,72 + 0,0417y$	3,2
Гумус	1,50	3,0	$0,74 \pm 0,02$	26,7	$0,62 + 0,294y$	19,6
pH	1,37	5,25	$-0,41 \pm 0,03$	10,9	$2,26 - 0,17y$	12,4
H	1,60	4,2	$0,63 \pm 0,02$	19,7	$1,03 + 0,135y$	8,4
S	1,51	25	$0,61 \pm 0,03$	19,2	$0,69 + 0,0327y$	2,2
V	1,25	80	$0,28 \pm 0,04$	7,2	$-0,25 + 0,01875y$	1,5
<i>Аллювиальные почвы</i>						
Физ. глина	1,71	13,8	$0,68 \pm 0,04$	14,2	$1,15 + 0,041y$	2,4
Гумус	1,90	10,0	$0,33 \pm 0,06$	5,4	$1,38 + 0,052y$	2,7
pH	2,20	5,25	$0,37 \pm 0,03$	10,3	$-0,10 + 0,438y$	19,9
H	2,32	4,2	$-0,36 \pm 0,05$	6,3	$2,97 - 0,155y$	6,7
S	1,89	30	$0,45 \pm 0,05$	8,2	$1,12 + 0,0257y$	1,4
V	2,05	80	$0,44 \pm 0,05$	7,7	$1,03 + 0,0128y$	0,6
<i>Осушаемые торфяные почвы</i>						
Орган. в-во	1,55	15,0	$0,37 \pm 0,06$	6,2	$0,96 + 0,0395y$	2,5
pH	1,48	5,0	$-0,49 \pm 0,03$	14,6	$2,31 - 0,159y$	10,7
H	1,67	3,25	$0,42 \pm 0,05$	7,2	$1,17 + 0,153y$	9,2
S	1,57	60	$-0,52 \pm 0,05$	9,9	$2,14 - 0,01y$	0,6
V	1,79	75	$0,37 \pm 0,07$	5,0	$0,33 + 0,0195y$	1,1

В дерново-подзолистых и осушаемых торфяных почвах корреляционная связь цинка существенная лишь с суммой обменных оснований, причем в минеральных разновидностях почв она прямая, а в органогенных почвах обратная. Близкая к средней степени тесноты обратная корреляция имеет место между концентрацией элемента и обменной кислотностью торфяных почв.

Наиболее существенное влияние гранулометрического состава, содержания гумуса, а также гидролитической кислотности и суммы обменных оснований на количество подвижного цинка проявляется в дерновых почвах.

В аллювиальных почвах цинк существенно коррелирует лишь с содержанием физической глины, что определяется особенностями минералогического состава аллювиальных отложений, оказывающих существенное влияние на формирование данных почв.

Обобщение материала по влиянию агрохимических свойств почв на содержание и подвижность микроэлементов позволило составить многофакторные математические и графические модели, позволяющие в целом оценивать взаимосвязь процессов и явлений, участвующих в трансформации и миграции элементов. Представленные уравнения множественной регрессии расширяют и углубляют наши знания о количественных закономерностях изменения микроэлементного состава под влиянием различных факторов.

В дерново-подзолистых почвах доминирующее влияние на распределение подвижности форм микроэлементов в пахотном слое оказывают сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями, а содержание марганца, бора, меди и молибдена в значительной степени связано с количеством гумуса. В меньшей степени на трансформацию микроэлементов в данных почвах оказывает гидролитическая кислотность.

Подобные закономерности связи микроэлементного состава дерново-подзолистых почв с их агрохимическими свойствами объясняются особенностями их формирования и развития. Эти почвы отличаются от своих аналогов на территории Европейской части СНГ менее выраженным процессом подзолообразования.

Одной из специфических особенностей дерново-подзолистых почв области является в ряде случаев их сравнительно высокая вторичная насыщенность основаниями, что и определяет превалирующее действие на миграцию и распределение химических элементов таких агрохимических показателей, как сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями.

Как отмечалось ранее, в Калининградской области дерново-подзолистые почвы отличаются хорошей окультуренностью и сравнительно высоким содержанием гумуса, что и определяет значительное действие данного ингредиента на содержание и подвижность ряда микроэлементов в рассматриваемых почвах.

Развитие дернового процесса, усиливающееся бурным ростом травянистой растительности в условиях теплого влажного климата, оп-

ределяет специфические особенности формирования дерновых глеевых и глееватых почв. Эти почвы характеризуются повышенным содержанием гумуса, оказывающего доминирующее влияние данного агрохимического показателя на трансформацию и миграцию микроэлементов. Существенное влияние на концентрацию химических элементов здесь оказывает также сумма обменных оснований, а подвижность ряда микроэлементов связана с обменной кислотностью. В дерновых почвах большое влияние на содержание и подвижность микроэлементов оказывает гранулометрический состав.

Специфические особенности формирования аллювиальных почв обусловили своеобразие закономерностей связи между их микроэлементным составом и агрохимическими свойствами. Эти почвы характеризуются яркой выраженностью аллювиальных процессов, проявляющихся в слоистом строении их профилей, представленных прослойками разного гранулометрического состава.

Основными критериями, определяющими особенности трансформации микроэлементов в этих почвах, являются гранулометрический состав, степень насыщенности основаниями и реакция почвенной среды. Меньшее действие оказывает содержание гумуса и сумма поглощенных оснований.

В осушаемых торфяных почвах трансформация и миграция микроэлементов определяются окислительно-восстановительными условиями и реакцией среды. В данных почвах доминирующее действие на формирование микроэлементного состава оказывают обменная, гидротическая кислотность и сумма обменных оснований.

Специфические особенности формирования и развития разных типов почв обусловили не только различный уровень содержания микроэлементов, но и разнообразие форм и закономерностей связи между их химическим составом и агрохимическими свойствами. Многофакторное моделирование позволяет более глубоко вскрыть и понять сложную мозаику этих процессов взаимосвязи с целью прогнозирования и управления условиями корневого питания растений.

7. Особенности географического распределения микроэлементов в почвах

7.1. Методические исследования по крупномасштабному картографированию валовых и подвижных форм микроэлементов

Одним из наглядных способов представления информации о химическом составе почв являются картосхемы содержания микроэле-

ментов. Мелко- и среднемасштабные карты содержания микроэлементов составлены для ряда республик и областей Европейской части РФ (Багинскас Б. П., 1971; Крупский Н. К. и др., 1978; Власюк П. А., 1980; Пейве Я. В., 1980; Тома С. И. и др. 1980). Коллективом авторов под руководством Ковды В. А., Зырина Н. Г. (1973) составлены картосхемы валового содержания микроэлементов в почвах Европейской части бывшего СССР. Схематические карты содержания валовых и подвижных форм микроэлементов в почвах Белоруссии представлены в работах Лупинович И. С. (1970, 1973), Лукашева К. Н., Петуховой Н. Н. (1970, 1980).

В основе составления картограмм содержания микроэлементов лежит выборочный индуктивный метод, принцип которого заключается в изучении их количества в отдельных ключевых, наиболее характерных для почвенной разности участках, являющихся типичными для данной почвенно-климатической зоны. Установление основных закономерностей распределения микроэлементов в почвах, связанных с типом почвообразовательного процесса, дисперсностью и гумусированностью почв, реакцией среды, степенью окультуренности, позволяет вполне обоснованно при картографировании содержания микроэлементов экстраполировать получаемые выборочные данные на общую совокупность почв.

Одним из важных моментов картографирования химических элементов является учет почвенной неоднородности. Исследования, проведенные разными авторами, привели, с одной стороны, к появлению работ теоретического характера, в которых делается попытка осмыслить причины и формы проявления многообразия почв в пространстве (Козловский Ф. П., 1970; Фридланд В. М., 1970, 1981), а с другой стороны, к необходимости разработки соответствующих методов изучения пространственной вариабельности как отдельных свойств почв, так и факторов, их определяющих и от них зависящих (Крупеников И. А., и др., 1968; Михайлов И. С., 1970; Дмитриев Е. А., 1972, 1980; Дубиковский Г. П., 1973).

Причины мезокомплексности и агрохимические свойства дерново-подзолистых почв Калининградской области изучены Важениным И. Г., Беяковой В. И. (1959). Для основных подтипов дерново-подзолистых почв ими установлено значительное варьирование в содержании подвижных форм питательных веществ (азота, фосфора, калия), причем для окультуренных почв большая пестрота в распределении элементов отмечена в связи с предшествующей историей землепользования, а не с генетическими особенностями почв.

Природное варьирование химического состава почв определяется комплексом факторов, главными из которых являются: 1) субмикрорестрота — включения органических остатков, первичных минера-

лов; 2) микропестрота — в почвенной разновидности; 3) мезопестрота — в пределах почвенного типа; 4) макропестрота — в пределах разных типов почв. Исследования природной вариабельности могут проводиться на разных уровнях с учетом основных признаков варьирования.

Изучению вариации распределения микроэлементов посвящены работы отечественных исследователей (Лупинович И. С., 1973; Важеннин И. Г., 1976; Ильин В. Б., 1982).

С целью изучения вариации содержания микроэлементов во времени, нами в течение ряда лет отбирались образцы в разные сроки вегетационного периода с апреля по октябрь (табл. 65).

Как показывают результаты исследования, содержание микроэлементов в почвах в разные месяцы вегетационного периода изменяется в небольших пределах. Вариация значительна у марганца (66—105%) и цинка (47—102%), менее существенна у бора (27—52%), кобальта (21—49%) и меди (21—35%), слабая у молибдена (14—34%). Разная вариабельность элементов связана с их особенностями и концентрацией в почвах. Более высокая вариация содержания микроэлементов имеет место в почвах легкого гранулометрического состава по сравнению с суглинистыми.

Некоторое повышение концентрации микроэлементов в почвах наблюдается в конце вегетационного периода — в августе. По-видимому, это связано с тем, что к этому периоду многие сельскохозяйственные культуры заканчивают рост и развитие, и уровень поступления микроэлементов в растения снижается. С другой стороны, в этот период в почве развиваются процессы минерализации органического вещества, что также приводит к дополнительному поступлению в почву подвижных форм микроэлементов.

В дальнейшем, с развитием процессов минерализации, происходит вымывание микроэлементов из почв, усиливающееся обилием осадков в осенний период. Это приводит к некоторому снижению концентрации микроэлементов в почвах в осенний период.

В целом необходимо отметить, что изменения содержания микроэлементов в почвах в течение вегетационного периода не превышают аналитическую ошибку их определения и не обуславливают перехода почв из одной группы в другую по обеспеченности микроэлементами. Поэтому отбор почвенных образцов на определение содержания микроэлементов можно проводить фактически в любые сроки в период с апреля по октябрь включительно.

Учитывая значительную пестроту почвенного покрова Калининградской области, важное значение при исследовании содержания микроэлементов в почвах имеет правильный выбор площади элементарного участка. С целью изучения данного вопроса почвенные

**Вариация содержания микроэлементов в почвах
в зависимости от сроков отбора образцов**

Сроки отбора	В		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
<i>Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва, n = 58</i>												
Апрель	0,49±0,02	32	3,2±0,10	24	79±7,4	71	0,57±0,001	18	1,03±0,04	31	0,69±0,05	54
Май	0,41±0,01	27	3,2±0,09	21	85±7,4	66	0,059±0,001	14	1,03±0,04	28	0,63±0,04	47
Июль	0,55±0,03	36	2,9±0,11	30	79±8,3	80	0,053±0,002	23	0,88±0,04	36	0,72±0,06	60
Август	0,60±0,03	40	3,4±0,15	33	87±9,4	82	0,062±0,002	27	0,82±0,04	37	0,80±0,05	51
Октябрь	0,43±0,02	29	3,1±0,11	26	78±7,8	76	0,053±0,001	16	1,00±0,03	26	0,66±0,06	68
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, n = 64</i>												
Апрель	0,31±0,01	37	2,8±0,10	28	61±6,3	82	0,062±0,002	23	0,89±0,04	36	0,56±0,05	67
Май	0,27±0,01	32	3,1±0,09	24	57±5,5	77	0,063±0,002	21	0,95±0,04	32	0,51±0,05	72
Июль	0,33±0,01	35	2,9±0,12	33	63±7,0	89	0,058±0,002	29	0,97±0,04	29	0,59±0,05	64
Август	0,36±0,01	29	3,4±0,13	30	68±4	75	0,069±0,002	18	0,97±0,04	33	0,65±0,05	58
Октябрь	0,26±0,01	40	3,0±0,13	35	55±6,5	94	0,058±0,002	31	0,92±0,04	37	0,50±0,04	63
<i>Дерново-подзолистая супесчаная почва, n = 36</i>												
Апрель	0,26±0,02	46	2,4±0,12	32	55±8,9	97	0,058±0,003	30	0,72±0,05	42	0,44±0,06	88
Май	0,28±0,02	41	2,7±0,13	29	55±8,5	93	0,066±0,004	34	0,63±0,05	43	0,41±0,07	97
Июль	0,28±0,02	39	2,3±0,12	31	52±9,1	105	0,070±0,003	26	0,69±0,05	46	0,49±0,07	82
Август	0,32±0,03	52	2,9±0,13	26	63±9,3	89	0,075±0,003	22	0,79±0,05	37	0,52±0,07	78
Октябрь	0,23±0,02	48	2,2±0,12	34	54±8,5	94	0,063±0,004	34	0,62±0,05	48	0,39±0,07	102

образцы отбирали с участков площадью 3, 5, 10 и 20 га. Пестрота распределения содержания микроэлементов (микропестрота) изучалась преимущественно для различных по гранулометрическому составу преобладающих разновидностей дерново-подзолистых почв, а также торфяных. При этом исходили из предположения, что характер распределения подвижных форм микроэлементов, также как и валовых форм, на малых и больших площадях в пределах одной почвенной разности в общем одинаков (Важенин И. Г., Музычкин Е. Т., 1976).

Анализ полученных результатов показывает, что сходимость параллельных результатов содержания микроэлементов в почвах отдельных участков зависит от их площади и максимальная на участках площадью 3 га. С увеличением площади элементарного участка она снижается, а вместе с тем уменьшается и достоверность получаемых данных (табл. 66).

Степень варьирования содержания микроэлементов в различных типах почв и в почвах разного гранулометрического состава неодинакова. Она более высока в торфяных и легких минеральных почвах по сравнению с тяжелыми.

Наиболее подвержены изменению марганец и цинк — коэффициенты вариации колеблются в пределах соответственно 21—88 и 24—87 %. Менее значительно варьируют бор (8—72%), медь (7—62%), кобальт (11—60%). Сравнительно слабым варьированием характеризуется молибден (4—52%).

Для отдельных типов почв на элементарных участках площадью от 3 до 10 га получены близкие результаты по содержанию подвижных форм микроэлементов. Отбор образцов с площади 20 га не позволил получить достоверных результатов с достаточно надежной сходимостью. Более высокие значения величин коэффициентов вариации микроэлементов на данной площади свидетельствуют о значительном разбросе получаемых результатов. Поэтому практически более рационально в условиях Калининградской области, характеризующейся пестротой почвенного покрова, отбор образцов при обследовании на содержание микроэлементов и картографировании проводить с площади 10 га, а для получения более детальных характеристик микроэлементного состава почв площадь элементарного участка может быть уменьшена.

Одним из требований, предъявляемых к отбору образцов почв для анализа на содержание микроэлементов, является то, что отбираемый образец должен быть типичным и отражать средний уровень концентрации элементов для данной почвы.

С целью установления количества индивидуальных проб для составления смешанного образца при картографировании микроэлемен-

Вариация содержания микроэлементов в почвах с элементарных участков разной площади

Площадь участка, га	n	В		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва													
3	44	0,43±0,01	19	3,2±0,05	11	82±3,5	28	0,055	7	0,99±0,03	18	0,65±0,03	33
5	36	0,42±0,02	33	3,0±0,10	19	80±4,7	35	0,050	13	1,03±0,04	26	0,57±0,04	46
10	23	0,45±0,04	47	2,7±0,15	26	88±7,9	43	0,059	24	1,21±0,09	37	0,70±0,09	59
20	17	0,56±0,08	56	3,8±0,45	49	96±14,5	62	0,066	38	1,35±0,17	52	0,78±0,15	79
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва													
3	56	0,34±0,01	16	2,3±0,05	17	58±2,3	30	0,066	7	0,85±0,03	26	0,47±0,02	35
5	43	0,29±0,01	28	3,0±0,11	23	55±3,7	44	0,060	18	0,74±0,03	29	0,59±0,04	43
10	31	0,33±0,02	37	3,1±0,20	36	69±5,7	46	0,058	22	0,92±0,05	31	0,61±0,06	55
20	22	0,22±0,02	59	3,8±0,47	58	78±10,5	63	0,075	39	1,04±0,11	49	0,70±0,12	82
Дерново-подзолистая супесчаная почва													
3	38	0,11±0,01	22	1,8±0,07	23	53±4,0	47	0,072	17	0,65±0,03	31	0,49±0,04	44
5	24	0,10±0,01	29	2,1±0,13	31	64±6,0	46	0,070	26	0,76±0,05	34	0,41±0,04	51
10	19	0,15±0,01	42	2,4±0,26	47	66±7,9	52	0,059	33	0,80±0,07	40	0,53±0,07	60
20	12	0,19±0,03	55	2,9±0,52	62	74±16,9	79	0,051	47	0,95±0,16	58	0,58±0,15	87
Осушаемая торфяная почва													
3	30	0,87±0,04	28	9,0±0,38	23	46±4,3	51	0,051	21	1,28±0,07	30	1,44±0,11	43
5	23	0,95±0,06	31	7,9±0,44	27	53±6,4	58	0,059	27	1,51±0,12	38	1,67±0,17	50
10	16	1,00±0,12	48	9,4±0,80	34	60±8,8	70	0,062	36	1,60±0,16	47	1,82±0,22	59
20	10	1,18±0,27	72	10,6±2,01	60	71±19,8	88	0,070	52	1,92±0,36	60	2,00±0,49	78

тов проведена специальная методическая работа на дерново-подзолистых супесчаных, легкосуглинистых и торфяных почвах. С однородных участков размером преимущественно около 10 га отбирались смешанные образцы почв почвенным буром на глубину пахотного слоя в соответствии с методикой, принятой агрохимслужбой при картографировании pH, P_2O_5 , K_2O . Смешанный образец составляется из 10, 20, 30, 40 и 50 индивидуальных проб. Усредненные данные по отдельным типам и подтипам почв представлены в таблице 67.

Анализ средних значений показывает, что различия в содержании микроэлементов в отдельных видах почв незначительны. Однако коэффициенты варьирования концентрации элементов в почвах однородных участков высокие и зависят от количества индивидуальных проб, взятых для подготовки смешанного образца. Их величины косвенно характеризуют неоднородность, обусловленную субмикро-, микро- и мезопестротой, а также природной дисперсией в целом. Особенно значительна вариация марганца (40—112%), цинка (41—103%), бора (24—97%), менее значительна меди (18—64%), кобальта (22—78%) и молибдена (9—54%). Наиболее высокая пестрота в распределении микроэлементов характерна для торфяных почв.

С увеличением количества индивидуальных проб, отбираемых для составления образцов, варьирование содержания микроэлементов в почвах снижается. Количество почвенных проб при определении содержания питательных веществ в почве, в том числе и микроэлементов, определяется с помощью математико-статистических оценок (Важенин И. Г., Лычкина Т. И., 1980). На основании расчета статистических параметров распределения микроэлементов в исследуемых почвах нами получены высокие коэффициенты варьирования, которые являются теоретической основой определения количества индивидуальных проб для отбора смешанного образца при агрохимическом обследовании почв на содержание подвижных форм микроэлементов, при этом установлено, что оптимальное их количество для составления смешанного образца должно составлять в среднем 40—45 проб.

Одним из важных вопросов при подходе к оценке микроэлементного состава почв является способ отбора почвенных образцов. От правильного способа отбора образцов зависит уровень влияния микропестроты на средние показатели содержания микроэлементов в почвах. С целью решения данной проблемы была проведена специальная методическая работа по оценке разных способов отбора образцов с элементарного участка — по диагонали, змейкой, крестом, по кругу и по прямой. Образцы отбирали с однородных участков площадью около 10 га дерново-подзолистых почв, причем смешанный образец

Показатели варьирования содержания микроэлементов в почвах в зависимости от количества индивидуальных проб для составления смешанного образца

Кол-во анализов проб	Кол-во участков, n	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %
Дерново-подзолистая почва													
10	23	0,42±0,07	76	3,0±0,30	48	66±12,0	87	0,059	28	0,93±0,10	53	0,62±0,10	79
20		0,39±0,05	59	3,2±0,27	40	59±9,2	75	0,061	23	0,85±0,08	46	0,58±0,08	66
30		0,40±0,04	51	2,9±0,20	33	63±8,3	63	0,058	20	0,88±0,06	31	0,66±0,07	54
40		0,46±0,04	37	3,1±0,17	26	74±7,9	51	0,055	14	0,97±0,06	29	0,70±0,07	48
50		0,50±0,03	24	3,6±0,14	18	77±6,4	40	0,064	9	1,04±0,05	22	0,51±0,04	41
Дерново-подзолистая супесчаная почва													
10	18	0,26±0,05	84	2,1±0,27	55	57±13,7	102	0,068	41	0,71±0,11	67	0,48±0,11	96
20		0,28±0,04	77	2,3±0,26	48	53±12,0	96	0,063	34	0,75±0,10	54	0,43±0,09	88
30		0,27±0,04	59	1,9±0,16	36	62±12,3	84	0,070	29	0,63±0,06	41	0,51±0,09	72
40		0,28±0,03	43	2,0±0,14	30	62±9,5	65	0,072	21	0,77±0,07	36	0,530,07	59
50		0,26±0,02	39	2,5±0,14	24	51±6,4	53	0,070	18	0,82±0,05	28	0,50±0,06	50
Осушаемая торфяная почва													
10	21	1,02±0,22	97	8,4±1,17	64	62±15,2	112	0,053	54	1,38±0,24	78	1,76±0,40	103
20		1,10±0,20	84	8,6±0,98	52	67±14,3	98	0,051	47	1,46±0,21	66	1,92±0,41	97
30		0,95±0,15	69	8,9±0,89	46	58±11,5	91	0,049	36	1,25±0,14	51	1,64±0,30	84
40		0,98±0,11	53	7,9±0,67	39	59±9,8	76	0,052	29	1,50±0,15	47	1,83±0,28	71
50		1,00±0,10	48	8,0±0,54	31	64±9,5	68	0,055	22	1,54±0,11	34	1,68±0,23	62

составлялся из 40 индивидуальных проб. Результаты исследований представлены в таблице 68.

Таблица 68

**Варьирование содержания микроэлементов в почвах
в зависимости от способов отбора почвенных образцов, n=32**

Способ отбора	Показатели	Микроэлементы					
		B	Cu	Mn	Mo	Co	Zn
Диагональ	$\bar{x}$	0,29	2,1	60	0,044	0,72	0,36
	$S\bar{x}$	0,01	0,07	4,6	0,001	0,03	0,03
	V, %	27	18	43	12	24	51
Крест	$\bar{x}$	0,32	2,3	65	0,041	0,76	0,33
	$S\bar{x}$	0,02	0,10	7,0	0,002	0,05	0,03
	V, %	38	24	61	21	36	60
Круг	$\bar{x}$	0,35	2,4	61	0,047	0,79	0,35
	$S\bar{x}$	0,03	0,17	9,6	0,003	0,07	0,05
	V, %	42	40	89	34	48	83
Змейка	$\bar{x}$	0,25	2,0	56	0,040	0,66	0,40
	$S\bar{x}$	0,01	0,08	5,7	0,001	0,03	0,04
	V, %	33	22	58	18	30	62
Прямая	$\bar{x}$	0,26	1,9	54	0,043	0,65	0,32
	$S\bar{x}$	0,03	0,18	9,2	0,004	0,08	0,05
	V, %	61	54	96	47	67	91

Содержание микроэлементов в почвах в зависимости от способов отбора изменяется незначительно, однако вариация распределения их подвижных форм колеблется в широких пределах и составляет у бора 27—61%, меди — 18—54%, марганца — 43—96%, молибдена — 12—47%, кобальта — 24—67%, цинка — 51—9%. Она более значительная при отборе образцов с элементарных участков по прямой и по кругу, менее значительная — по кресту и змейке, минимальная — по диагонали.

Исследования показывают, что практически любой из рассмотренных способов отбора приемлем, однако, учитывая наиболее низкие значения коэффициентов вариации при отборе образцов по диагонали, данный способ следует считать наиболее надежным.

Таким образом, проведенная методическая работа по определению оптимальных сроков, способов и особенностей отбора смешанных почвенных образцов для массового картографирования почв на

содержание микроэлементов позволила установить, что наилучшим для условий Калининградской области с ее спецификой геолого-почвенных и агроклиматических условий является проведение почвенного обследования в течение вегетационного периода. При этом образцы лучше отбирать по диагонали элементарного однородного участка площадью 10 га, а смешанный образец составлять из 40 индивидуальных проб.

На распределение подвижных форм бора, меди, марганца и цинка, наряду с гранулометрическим составом и содержанием гумуса в дерново-подзолистых почвах, существенное влияние оказывает также степень окультуренности. На хорошо окультуренных почвах возрастает вариация содержания данных элементов, по сравнению со слабоокультуренными.

Особенности распределения как валовых, так и подвижных форм микроэлементов в почвах, а также литературные данные (Багинская Б. П., 1971; Дубиковский Г. П., 1973; Даутов Р. К., 1975) свидетельствуют о том, что в основу разработки методики картографирования микроэлементов должны быть положены генетические признаки почв, и прежде всего их гранулометрический состав и содержание гумуса.

7.2. Картографирование содержания валовых и подвижных форм микроэлементов

На основании многочисленного фактического материала, полученного при массовом обследовании почв на содержание микроэлементов, а также методических разработок Важенина И. Г. (1976) и материалов Всесоюзных рабочих совещаний по картографированию микроэлементов (Москва, 1972, 1974, 1981; Рига, 1975; Кишинев, 1978), в которых принимал непосредственное участие и автор, было проведено картографирование содержания валовых и подвижных форм микроэлементов в почвах Калининградской области. Информация по концентрации микроэлементов в почвах была подвергнута статистической обработке, позволившей получить достоверные сведения о закономерностях их распределения на территории области и разделения почв по классам градаций.

Общий б о р. По содержанию общего бора почвы области разделены на четыре группы. Почвы первой группы (< 7 мг/кг) не имеют сплошного распространения, а распределены на территории области отдельными массивами. Наиболее широко распространены эти почвы на территории геоморфологических районов западных холмистых возвышенностей и слабовсхолмленных и плоских приречных песчаных равнин. Представлены преимущественно песчаными почвами, сфор-

мировавшимися на бескарбонатных валунных суглинках, прикрытых супесчаными наносами или песчаными и супесчаными почвами, подстилаемыми сортированными мелкозернистыми, реже грубыми с галькой и гравием, песками (приложение 1).

На территории северной слаборасчлененной и восточной пологохолмистой равнин широко распространены дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы, относящиеся по содержанию валового бора ко второй группе (7—10 мг/кг). Эти почвы в юго-восточной части области залегают на флювиогляциальных разнозернистых песках, в ряде мест прикрытых карбонатными валунными суглинками, в центральной и юго-западной — на водно-ледниковых песках и валунных бескарбонатных суглинках.

Почвы третьей группы (10—15 мг/кг бора) образуют значительные массивы на территории северной слаборасчлененной и северо-восточной пологохолмистой равнин, а также в районе слабовсхолмленных и плоских приречных песчаных равнин. Отдельные участки этих почв встречаются на территории юго-восточной холмисто-грядовой возвышенности и в западной части приречной расчлененной равнины. Это преимущественно дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы, сформировавшиеся на флювиогляциальных песках, прикрытых карбонатными валунными суглинками, безвалунных тяжелых глинах или валунных средних суглинках, прикрытых маломощными наносами более легкого гранулометрического состава.

В центральной части плоской слаборасчлененной равнины, на территории западной приречной расчлененной равнины, а также в поймах рек распространены почвы, относящиеся по содержанию валового бора к четвертой группе (больше 15 мг/кг). Это преимущественно тяжелосуглинистые и глинистые тяжелые почвы на плакорных или пониженных элементах рельефа, залегающие на озерно-ледниковых безвалунных карбонатных тяжелых иловатых глинах или на двучленных наносах, представленных хрящеватыми средними или легкими суглинками, подстилаемыми карбонатными тяжелыми валунными суглинками.

В поймах рек и на территории Куршской низменности широко распространены дерновые, аллювиальные и торфяные почвы, залегающие на средне- и тяжелосуглистых аллювиальных наносах или древнеаллювиальных песках и супесях. Эти почвы по валовому содержанию бора также должны быть отнесены к четвертой группе.

Подвижный бор. Почвы области по содержанию подвижного бора разделены на четыре группы. В первую группу (до 0,2 мг/кг) вошли дерново-подзолистые легкие почвы, развившиеся на песчаных почвообразующих породах. Значительные массивы таких почв распространены на северо-западе Земландского полуострова, по берегам Ка-

лининградского залива и на высоких террасах пойм рек, преимущественно в пределах геоморфологического района западных холмистых возвышенностей, а также слабовсхолмленных и плоских приречных песчаных равнин (приложение 2).

Вторую группу (0,2—0,5 мг/кг) образуют дерново-подзолистые суглинистые и глинистые почвы, сформировавшиеся на средних и тяжелых породах. Это наиболее широко распространенная на территории области группа почв, занимающая около 50% площади сельхозугодий.

Почвы первой и второй групп относятся к недостаточно обеспеченным подвижным бором и нуждаются в дополнительном внесении борных микроудобрений.

Средним содержанием водорастворимого бора (0,5—1 мг/кг) характеризуются дерновые, аллювиальные и осушаемые торфяные почвы, отличающиеся сравнительно высокой гумусированностью и насыщенностью основаниями. Это почвы, залегающие преимущественно на отрицательных элементах рельефа, в долинах рек, на территории Куршской низменности и Гусевской древнеозерной впадины. Они сформировались, главным образом, на многочисленных и двучленных наносах, в которых более тяжелая порода, как правило, подстилается более легкой. К данной группе относятся также дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые глеевые и глееватые почвы, сформировавшиеся на тяжелых суглинках, подстилаемых глинами, или на глинах. Такие почвы широко распространены на территории центральной плоской слаборасчлененной равнины.

Средне- и тяжелосуглинистые дерновые глееватые и глеевые почвы материковых лугов характеризуются повышенным содержанием подвижного бора ($>1,0$ мг/кг) и составляют четвертую группу. Данные почвы не образуют сплошных массивов и распределены на территории области отдельными участками. Они занимают небольшую площадь, не превышающую 7% территории сельхозугодий. Вариация содержания микроэлемента в этих почвах наиболее высокая.

Общая медь. По общему содержанию меди выделено четыре группы почв. Минимальным количеством микроэлементов (<7 мг/кг) характеризуются почвы, образовавшиеся на песчаных почвообразующих породах. Это преимущественно легкие почвы, распространенные в северо-западной части Земландского полуострова, по берегам Калининградского залива, в юго-западной и северо-восточной частях центральной плоской слаборасчлененной равнины, а также в виде пятен и полос среди почв (приложение 3).

В районе западных холмистых возвышенностей, а также на территории юго-восточной холмисто-грядовой возвышенности и слабовс-

холмленных приречных песчаных равнин распространены дерново-подзолистые супесчаные или легкосуглинистые почвы, относящиеся по содержанию общей меди ко второй группе — от 7 (дерново-подзолистые супесчаные почвы, подстилаемые песком) до 10 мг/кг (дерново-подзолистые ненасыщенные или вторично насыщенные легкосуглинистые почвы).

Около 50% территории области, главным образом, в центральной и северной частях, заняты почвами с повышенным содержанием меди. Это в основном дерново-подзолистые средне- и тяжелосуглинистые почвы, дерновые глеевые и глееватые, аллювиальные и осушаемые торфяные. Содержание меди в почвах данной группы колеблется от 10 до 15 мг/кг.

Интенсивное накопление меди (>15 мг/кг) происходит в дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и глинистых почвах, сформировавшихся на тяжелых суглинках, валунных или безвалунных глинах, а также на озерно-ледниковых безвалунных карбонатных тяжелых иловатых глинах. Высокое содержание общей меди позволяет выделить данные почвы в отдельную четвертую группу.

П о д в и ж н а я м е д ь. Дисперсия в содержании подвижной меди в почвах области позволяет разделить последние на четыре группы.

Дерново-подзолистые песчаные почвы, характеризующиеся сравнительно низким содержанием гумуса, отличаются минимальным количеством подвижной меди ($<1,5$ мг/кг) и образуют первую группу (приложение 4).

Содержание меди возрастает в дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых разновидностях почв (1,6—3,0 мг/кг) — вторая группа. Сюда входят дерново-подзолистые супесчаные почвы на ледниковых бескарбонатных валунных суглинках и озерно-ледниковых безвалунных карбонатных тяжелых иловатых глинах. Почвы второй группы занимают основные массивы пахотных угодий.

Почвы первой и второй группы характеризуются недостаточным содержанием меди и нуждаются в применении медных микроудобрений.

Значительную часть территории области (около 40%) занимают почвы с повышенным содержанием подвижной меди (3,1—7,0 мг/кг). Кроме дерново-подзолистых тяжелосуглинистых и глинистых почв на озерно-ледниковых тяжелых породах и двучленных наносах в эту группу вошли дерновые на тяжелых суглинках и глинах, а также аллювиальные почвы.

Осушаемые торфяные почвы характеризуются более высоким по сравнению с минеральными почвами содержанием меди, что позволяет выделить их в отдельную четвертую группу ($>7,0$ мг/кг).

Общий марганец. Колебания в содержании марганца значительные — от 156 до 451 мг/кг, что позволяет разделить почвы Калининградской области на четыре группы (приложение 5).

Первая группа (<200 мг/кг) объединяет легкие дерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на бескарбонатных валунных суглинках, покрытых супесчаным наносом, а также на сортированных мелко- или грубозернистых песках. Распространены преимущественно на западе Земландского полуострова, в прибрежной части Калининградского залива, на высоких террасах рек Преголи, Деймы, Инструча. Невысокое содержание марганца в данных почвах объясняется легким восстановлением элемента в условиях избыточного увлажнения, а на легких породах при хорошей дренированности территории происходит интенсивный отток продуктов восстановления, и почвы обедняются марганцем.

Основные массивы почв области, сформировавшиеся на супесчаных и суглинистых породах, образуют вторую группу почв (200—300 мг/кг), куда входят дерново-подзолистые окультуренные почвы легко- и среднесуглинистого состава, а также дерновые глееватые и глеевые.

К третьей группе (300—400 мг/кг) отнесены дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые почвы, залегающие на двучленных наносах среднего и тяжелого гранулометрического состава, а также на валунных тяжелых суглинках или безвалунных иловатых глинах. Располагаются преимущественно на территории восточной пологонаклонной и западной приречной расчлененной равнины.

Интенсивное накопление марганца (>400 мг/кг) за счет восстановительных процессов и слабой аэрации отмечено в почвах, подвергающихся длительному или кратковременному избыточному увлажнению и отнесенных к четвертой группе, куда входят аллювиальные и осушаемые торфяные почвы Куршской низменности.

Подвижный марганец. По содержанию подвижного марганца почвы разделены на четыре группы. К первой группе (<10 мг/кг) отнесены песчаные почвы района западных холмистых и юго-восточных холмисто-грядовых возвышенностей (приложение 6).

По мере увеличения содержания в почвах частиц физической глины и степени гумусированности возрастает и количество подвижного марганца во второй группе почв (10—50 мг/кг). В эту группу входят дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы на водно-ледниковых песках и супесях, легких и средних валунных суглинках.

Третью группу (50—100 мг/кг), наиболее широко представленную, образуют дерново-подзолистые ненасыщенные или вторично насыщенные почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава. В

данную группу входят также дерновые и аллювиальные почвы, отличающиеся более высокой гумусированностью и насыщенностью основаниями. Почвы данной группы занимают около 75% территории области.

Немногочисленная группа осушаемых торфяных и аллювиальных почв, подстилаемых погребенным торфом, характеризуется сравнительно высоким содержанием подвижного марганца (>100 мг/кг). Они распространены в пределах пойменно-болотной дельтовой низменности реки Неман, района болотно-луговых озерновидных расширений речных долин и заболоченных пойм.

Общий молибден. Среднее содержание молибдена в почвах бывшего СССР, установленное разными авторами (Виноградов А. П., 1957; Добрицкая Ю. И., 1966; Ковальский В. В., Андрианова Г. А., 1970), принимается равным 2—2,5 мг/кг. Зборищуком Ю. Н., Зыриным Н. Г. (1974) показано, что кларк молибдена в почвах лесо-луговой зоны Европейской части бывшего СССР (без учета торфяно-болотных почв) составляет 0,80—1,45 мг/кг. Аналогичные данные для почв Белоруссии приводятся Лупиновичем И. С., Дубиковским Г. П. (1973).

Содержание молибдена в почвах Калининградской области изменяется в пределах от 0,32 до 1,83 мг/кг и зависит от гранулометрического и минералогического состава почв и пород, а также процессов почвообразования, что нашло свое отражение при составлении схематической карты распределения микроэлемента в почвах области.

По содержанию общего молибдена почвы разделены на четыре группы. Малое содержание тонкодисперсных частиц при подавляющем господстве в минералогическом составе песчаных почвообразующих пород кварца обуславливает низкое количество молибдена ($<0,5$ мг/кг) в дерново-подзолистых песчаных почвах, отнесенных к первой группе. К ней отнесены также осушаемые торфяные почвы, в которых содержание молибдена определяется особенностями химизма питающих их вод, восстановительными условиями в течение длительного периода года и ботаническим составом торфа (приложение 7).

Содержание молибдена возрастает (0,5—0,7 мг/кг) в дерново-подзолистых супесчаных и суглинистых почвах — вторая группа. Эти почвы распространены преимущественно на территории северной (Полесской) слаборасчлененной равнины и юго-восточной холмисто-грядовой возвышенности.

Третья группа (0,7—1,0 мг/кг) представлена дерново-подзолистыми тяжелосуглинистыми и глинистыми почвами, сформировавшимися на валунных тяжелых суглинках и глинах, а также на озерно-ледниковых безвалунных карбонатных тяжелых иловатых глинах. Такие почвы широко распространены в пределах приречной расчлененной, цен-

тральной плоской слабобрасчленной западной и северо-восточной полого-холмистой равнин.

Дерновые глеевые и глееватые, а также аллювиальные почвы отнесены к четвертой группе ($>1,0$ мг/кг) и характеризуются сравнительно высоким содержанием молибдена.

Подвижный молибден. Чрезвычайно низкое содержание в почвах Калининградской области подвижного молибдена не позволяет определить группы почв для картографирования с учетом их обеспеченности элементом. Поэтому для установления мест распределения микроэлемента на территории области условно выделено четыре группы с более мелким таксономическим подразделением его фактического содержания (приложение 8).

Отмечается очень низкое ($<0,05$ мг/кг) содержание подвижного молибдена в песчаных и супесчаных дерново-подзолистых почвах, сформировавшихся на легких почвообразующих породах, богатых кварцем. Хорошая дренированность таких почв в условиях мягкого влажного климата обуславливает значительный вынос молибдена из пахотного слоя и обеднение последнего микроэлементом.

Дерново-подзолистые легкосуглинистые почвы на водно-ледниковых отложениях, представленных бескарбонатными валунными суглинками, отнесены по содержанию молибдена во вторую группу ($0,05—0,07$ мг/кг). Залегают преимущественно в геоморфологическом районе западных холмистых и юго-восточных холмисто-грядовых возвышенностей, а также на территории северной слабобрасчленной равнины.

Третью группу почв ($0,07—0,09$ мг/кг) образуют дерново-подзолистые почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава, а также аллювиальные и осушаемые торфяные, характеризующиеся значительной вариацией содержания микроэлемента.

Представленные три группы почв по содержанию подвижного молибдена относятся к низкообеспеченным микроэлементом и остро нуждаются в применении молибденовых удобрений. Таких почв на территории области около 99%.

Очень небольшую группу почв — четвертую ($>0,09$ мг/кг) образуют дерновые глееватые и глеевые почвы.

Общий кобальт. Пределы среднего содержания общего кобальта в почвах области значительные — от 3 до 22 мг/кг, что предопределило возможность выделения четырех групп почв (приложение 9).

Дерново-подзолистые песчаные почвы на маломощных песчаных и супесчаных отложениях (первая группа) характеризуются сравнительно невысоким содержанием кобальта (<5 мг/кг). Такие почвы широко распространены в северо-западной и центральной части Земландского полуострова, юго-восточной оконечности Куршской низменности, на высоких террасах долин рек Немана, Преголи, Инструча.

Содержание кобальта повышается до 5—10 мг/кг в дерново-подзолистых супесчаных и легкосупесчаных почвах (вторая группа), залегающих, как правило, на повышенных участках среди моренных абразированных равнин, а также ступенчатых пологих склонах возвышенностей. Такие почвы сформировались на двучленных отложениях, сложенных сверху легкими наносами, близко подстилаемые суглинистыми и глинистыми породами.

Наиболее широко распространена на территории области третья группа почв с содержанием общего кобальта от 10 до 15 мг/кг. Это преимущественно почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава, сформировавшиеся на валунных суглинках и глинах. В данную группу входят также дерновые глеевые и глееватые, осушаемые торфяные и аллювиальные почвы.

Четвертая, немногочисленная, группа с содержанием общего кобальта больше 15 мг/кг представлена дерновыми почвами материковых лугов и дерново-подзолистыми глинистыми, залегающими на тяжелых породах. Эти почвы встречаются отдельными участками на территории центральной слаборасчлененной плоской равнины и юго-восточной холмисто-грядовой возвышенности.

Подвижный кобальт. Наиболее бедны микроэлементом ($<0,5$ мг/кг) почвы первой группы, сформировавшиеся на песках, а также дерново-подзолистые супесчаные. Такие почвы широко распространены на Земландском полуострове, на территории западных холмистых возвышенностей и на высоких террасах речных долин.

Во вторую группу (0,5—1,0 мг/кг) отнесены дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы, распространенные преимущественно на равнинных элементах рельефа и в юго-восточной части района холмисто-грядовых возвышенностей.

Содержанием подвижного кобальта (1,0—3,0 мг/кг) характеризуются почвы третьей группы, куда входят дерново-подзолистые тяжело-суглинистые и глинистые почвы, сформировавшиеся на ледниковых отложениях, дерновые, аллювиальные и осушаемые тофяные почвы.

Четвертая группа ($>3,0$ мг/кг) включает дерновые почвы долговременных лугов. Такие почвы залегают преимущественно на моренных и озерно-ледниковых равнинах и сформировались на тяжелых суглинках, подстилаемых глинами (приложение 10).

Общий цинк. Содержание цинка в почвах области изменяется в широких пределах. В первую группу с содержанием цинка меньше 30 мг/кг вошли дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, сформировавшиеся на бескарбонатных валунных суглинках, прикрытых супесчаным наносом. Значительные площади таких почв распространены в районе западных холмистых и юго-восточных холмисто-грядовых возвышенностей.

Вторая группа объединяет почвы, содержащие в перегнойном горизонте от 30 до 50 мг/кг цинка. В эту группу входят дерново-подзолистые супесчаные и легкосуглинистые почвы, распространенные в пределах северной слаборасчлененной и западной приречной расчлененной равнины.

Дерново-подзолистые средне- и тяжелосуглинистые, а также аллювиальные почвы образуют третью группу с содержанием общего цинка от 50 до 75 мг/кг. Эти почвы сформировались на ледниковых средних и тяжелых отложениях. Они широко распространены на территории северо-восточной пологохолмистой, восточной пологонаклонной, центральной и северной слаборасчлененных равнин.

Четвертую группу с содержанием цинка больше 75 мг/кг образуют почвы заболоченных пойм в озеровидных расширенных речных долин, а также дерновые глееватые и осушаемые торфяные. Такие почвы широко распространены в поймах рек и на территории Куршской низменности (приложение 11).

П о д в и ж н ы й ц и н к . Значительная пестрота почвенного покрова по содержанию подвижного цинка обусловила выделение четырех групп почв. В первую группу, характеризующуюся низким количеством подвижного цинка ($<0,5$ мг/кг), входят дерново-подзолистые легкие почвы на песчаных и супесчаных породах. Эти почвы распространены в основном на повышенных элементах рельефа на территории западных и юго-восточных холмистых возвышенностей.

Более высоким содержанием цинка (0,5—1,0 мг/кг) характеризуются почвы второй группы. Это в основном дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы на валунных суглинках, водно-ледниковых песках, суглинках и глинах. На территории моренной абрадированной равнины эти почвы подстилаются двучленными наносами, представленными хрящеватыми средними и легкими суглинками, подстилаемыми карбонатными тяжелыми валунными суглинками.

Третью группу с содержанием цинка от 1 до 3 мг/кг образуют дерново-подзолистые тяжелосуглинистые, аллювиальные и торфяные почвы. Они занимают центральную часть области и Куршской низменности.

Очень немногочисленная группа почв характеризуется повышенным содержанием цинка ($>3,0$). Это дерновые глееватые и глеевые почвы материковых лугов повышенного увлажнения. Такие почвы залегают на тяжелых суглинках и глинах. Они также не образуют сплошных массивов, а в виде небольших участков разбросаны по территории области (приложение 12).

Основываясь на пороговых величинах валового содержания микроэлементов в почвах (Ковальский В. В., 1969, 1974), биологическая реакция организмов территории области определяется недостатком молибдена ($>90\%$), меди (80%), кобальта (90%), цинка (70%), достатком марганца

и бора. Установлено, что около 60% почв слабо обеспечены подвижными формами бора, меди, свыше 90% — подвижными формами молибдена, кобальта, цинка и лишь немногие почвы бедны марганцем.

По комплексу геохимических характеристик территорию Калининградской области необходимо отнести к биогеохимической провинции Нечерноземной зоны с низким содержанием в почвах валовых и подвижных форм молибдена, кобальта, меди, подвижных форм бора и цинка.

В настоящее время различными авторами предложен ряд градаций по обеспеченности микроэлементами разных типов почв. Наибольшее распространение имеет градация, предложенная Пейве, Ринькисом. Кроме этого, существует группировка почв по содержанию макроэлементов, рекомендованная Важениным и Дубиковским. До последнего времени, однако, отсутствуют какие-либо критерии оценки обеспеченности микроэлементами аллювиальных, аллювиально-болотных и дерновых почв.

В процессе проведения собственных экспериментов по выявлению отзывчивости различных сельскохозяйственных культур на внесение микроудобрений нами обнаружено значительное несоответствие уровней прибавок урожая и существующих градаций обеспеченности почв подвижными формами микроэлементов.

Это обстоятельство и предопределило необходимость поиска путей наиболее объективной и комплексной оценки обеспеченности почв микроэлементами на основа запаса их в гумусовом горизонте, выраженного в килограммах на гектаре. Запас того или другого микроэлемента определялся с учетом мощности гумусового горизонта, объемной массы почвы и содержания микроэлементов в 1 мг/кг.

В таблице 69 представлены данные о запасах микроэлементов в пахотном слое основных типов и разновидностей почв. Дерновые и аллювиальные почвы отличаются сравнительно большим запасом подвижных форм бора, меди и цинка по сравнению с дерново-подзолистыми почвами. Осушаемые торфяные почвы характеризуются меньшим запасом практически всех изучаемых элементов.

Проведение большого количества полевых опытов с ведущими сельскохозяйственными культурами на разных типах почв с различным запасом микроэлементов позволило получить количественную оценку отзывчивости сельскохозяйственных культур на применение микроудобрений (табл. 70) и на этой основе предложить градации обеспеченности почв по запасам микроэлементов (табл. 71). Экспериментальные данные по этому вопросу представлены в следующей главе. В таблице 70 приведены усредненные данные прибавки урожая от трех способов применения микроудобрений: внесение в почву, смачивание семян и опрыскивание растений.

**Запас подвижных форм микроэлементов в пахотном слое почв
Калининградской области, кг/га**

Варианты	n	B		Cu		Mn		Mo		Co		Zn	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Дерново- подзолистые песчаные	312	0,51±0,03	61	4,8±0,11	55	143±2,4	37	0,17±	20	1,63±0,03	38	1,07±0,03	49
Супесчаные	595	0,89±0,03	55	6,9±0,12	47	173±1,7	29	0,18±	18	2,19±0,03	33	1,53±0,03	45
Легко- суглинистые	682	1,16±0,03	50	8,7±0,15	37	205±2,1	27	0,18±	13	2,69±0,03	25	1,81±0,03	40
Средне- суглинистые	348	1,59±0,06	47	10,1±0,25	28	227±5,7	21	0,17±	12	3,18±0,10	22	2,10±0,06	31
Тяжело- суглинистые и глинистые	281	1,93±0,10	42	11,6±0,27	22	255±4,6	19	0,17±	11	3,69±0,13	19	2,36±0,07	28
Дерновые	757	1,38±0,05	53	12,1±0,21	45	184±2,6	37	0,14±	22	1,85±0,02	47	3,37±0,07	45
Аллювиаль- ные	345	1,32±0,08	47	13,9±0,23	28	105±2,5	41	0,07±	20	2,02±0,05	38	3,16±0,06	33
Осушаемые торфяные	377	0,72±0,04	46	5,9±0,09	30	45±1,1	46	0,04±	28	0,97±0,02	37	1,17±0,03	43

Уровни прибавок урожая от применения микроудобрений (%)

Культуры	Группы почв по запасам микроэлементов		
	I	II	III
По бору, n=53			
В среднем	11,2	7,1	1,3
в т. ч.			
Кормовые бобы	9,7	4,5	0,6
Кормовая свекла	13,4	10,7	2,1
По меди, n=49			
В среднем	13,1	8,2	4,1
в т. ч.			
Ячмень	11,7	6,8	4,5
Тимофеевка луговая	14,5	9,6	3,6
По марганцу, n=37			
В среднем	10,4	7,1	2,1
в т. ч.			
Кормовая свекла	9,3	5,2	1,6
Кукуруза	11,4	9,6	2,5
По молибдену, n=44			
В среднем	12,8	8,9	—
в т. ч.			
Тимофеевка луговая	11,9	8,5	—
Кормовые бобы	15,8	7,4	—
Кукуруза	10,9	10,8	—
По кобальту, n=41			
В среднем	8,2	5,3	2,1
в т. ч.			
Ячмень	6,4	4,7	1,9
Тимофеевка луговая	9,6	5,6	1,0
Кормовые бобы	8,7	5,7	3,4
По цинку, n=47			
В среднем	13,7	7,9	3,2
в т. ч.			
Ячмень	15,2	8,7	2,4
Кукуруза	13,5	9,8	4,9
Кормовая свекла	11,9	5,8	2,9

Градации обеспеченности почв по запасам микроэлементов

Группа	Обеспеченность	Запас микроэлементов в пахотном слое почв, кг/га				
		B	Cu	Mn	Co	Zn
I	Низкая	<0,7	<7	<100	<3	<2
II	Средняя	0,7—1,5	7—12	100—200	3—5	2—4
III	Высокая	>1,5	>12	>200	>5	>4

Экспериментальные данные показывают, что уровни прибавок урожая определяются запасом микроэлементов в пахотном слое, что и послужило основанием для подразделения почв на 3 группы по запасам микроэлементов в почвах. Разумеется, предложенные нами градации не претендуют на высокую точность. Однако они могут служить хорошей основой для дифференцированного применения микроудобрений в производстве. По этим градациям можно оценивать все типы и разновидности почв региона и прилегающих к нему территорий.

На основании предложенных градаций нами составлены карто-схемы запасов микроэлементов в почвах области. К первой группе относятся почвы с низким запасом микроэлементов и острой нуж-даемостью в дополнительном внесении микроудобрений. На таких почвах применение последних, как правило, высокоэффективно под большинство ведущих сельскохозяйственных культур. Почвы второй группы — среднеобеспеченные микроэлементами, умеренно нужда-ются в применении микроудобрений, здесь проявляется эффектив-ность их действия на величину урожая сельскохозяйственных культур и более значительная — на качество урожая. Почвы третьей группы — высокообеспеченные микроэлементами, не нуждаются во внесении микроудобрений. На таких почвах применение микроэлементов неэф-фективно, а в ряде случаев оказывает отрицательное действие на уро-жай.

В представленные градации не включены данные по молибдену, так как практически все почвы области крайне мало содержат этого микроэлемента и должны быть отнесены к первой группе. По этой же причине нами не составлялась картосхема по запасам подвижного молибдена в почвах.

Приведенный материал дает четкое представление о запасах под-вижных форм микроэлементов в почвенном покрове на территории области. Наблюдается тесная взаимосвязь распределения запасов микроэлементов с условиями географического размещения почв. Са-мую низкую обеспеченность подвижными формами микроэлементов

имеют территория Земландского полуострова, северная часть Куршской низменности, пойма реки Неман и центральная пойменная часть реки Преголи. Почвы южной и юго-восточной частей области несколько лучше обеспечены микроэлементами.

Составленные картосхемы позволяют выделить районы с дефицитом того или другого микроэлемента. По запасам бора выделяется педогеохимическая провинция с низким содержанием элемента. Она занимает около 8% площади сельхозугодий области.

Вторая провинция со средним запасом бора занимает восточную, юго-западную и северо-западную части области. Это районы распространения дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых, дерновых и аллювиальных почв. На эти почвы приходится около 55% территории сельхозугодий области.

Почвы, не нуждающиеся в применении борных удобрений, отнесенные к группе с высоким запасом бора, занимают около 37%. Они распространены преимущественно в центральной части области и представлены дерново-подзолистыми средне- и тяжелосуглинистыми, а также глинистыми почвами.

По запасам подвижной меди выделяется провинция распространения дерново-подзолистых песчаных и супесчаных, торфяных и аллювиальных почв, характеризующаяся малым количеством элемента. Такие почвы составляют около 16% от всей территории сельхозугодий области.

Группу среднеобеспеченных по запасам меди образуют дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые почвы. Данная педогеохимическая провинция распространена на территории северной (Полесской) слаборасчлененной и северо-восточной полого-холмистой равнин, а также в юго-восточной и юго-западной частях области и занимает свыше 45% территории сельхозугодий.

К достаточно обеспеченным медью относятся дерново-подзолистые тяжелосуглинистые и глинистые почвы, а также дерновые почвы материковых лугов и аллювиальные. Они широко распространены в центральной и восточной частях области, а также на юге Куршской низменности и занимают около 35% территории.

Небольшая группа почв, около 6%, характеризуется низким запасом подвижного марганца и образует педогеохимическую провинцию, лежащую в зоне осушаемых торфяных и аллювиальных почв. Они распространены в поймах рек, по берегам заливов и в северной части Куршской низменности.

Почвы со средним количеством марганца занимают менее 18% территории. В данную группу вошли дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава, а также дерновые и аллювиальные. Они сравнительно небольшими участками распределены по территории

области среди других почв. Значительный массив почв преимущественно аллювиального типа распространен в южной части Куршской низменности.

Наибольшее распространение (свыше 65% территории) имеют почвы, относящиеся к провинции с достаточно высоким запасом марганца. Данная провинция представлена дерново-подзолистыми средне- и тяжелосуглинистыми почвами.

По запасам подвижных форм кобальта и цинка на территории области выделены две провинции. Педогеохимическую провинцию с низким запасом кобальта образуют дерново-подзолистые песчаные, супесчаные и легкосуглинистые почвы, а также дерновые, аллювиальные и осушаемые торфяные. На долю этой группы почв приходится более 60% территории. К группе со средним запасом кобальта отнесены лишь дерново-подзолистые почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава.

Наибольшее распространение на территории области имеет провинция, характеризующаяся низким запасом цинка — более 74% территории области. Крайне бедны этим элементом дерново-подзолистые, осушаемые торфяные и пойменные почвы. Сравнительно небольшая группа дерновых и аллювиальных почв отнесена к провинции со средним запасом элемента.

В пределах биогеохимических провинций территории Калининградской области возможно выделить три природные зоны — северную, восточную и западную, различающиеся между собой комплексом физико-географических условий, и прежде всего почвенным покровом, характеризующимся различным запасом и сочетанием макро- и микроэлементов. Более дробные подразделения возможно провести на уровне почвенных разновидностей с учетом не только гранулометрического состава, но и гумуса, кислотности и других агрохимических свойств почв.

8. Микроэлементы и урожай

8.1. Влияние микроудобрений на урожай сельскохозяйственных культур

Значительным достижением отечественной и зарубежной науки является использование микроэлементов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. В последние годы интерес к микроэлементам возрос в связи с углубленным изучением вопросов питания растений, позволившим вскрыть важную физиологи-

ческую роль многих химических элементов. Рост производства высококонцентрированных удобрений, использование лучших сортов и внесение минеральных удобрений в повышенных дозах усиливает дефицит микроэлементов в почвах. Повышение урожайности культур на фоне высокого уровня химизации сельскохозяйственного производства способствует усилению выноса химических элементов растениями и обеднению почв как макро-, так и микроэлементами. Это также диктует необходимость повсеместного широкого применения микроудобрений в сельском хозяйстве.

Исследования по биогеохимии и агрохимии микроэлементов проводятся во многих странах мира: Индии, Швеции, Англии, Франции, Канаде, Германии, Польше, Болгарии, Чехословакии и др. В больших количествах микроудобрения применяются в США, Германии, Австрии и других странах.

В бывшем Советском Союзе микроудобрения, главным образом, медные, цинковые, борные, марганцевые и молибденовые, применялись на площади в несколько миллионов гектаров. Институтом НИУИФ (Потатиева Ю. А., 1975) установлено, что общая потребность сельскохозяйственных растений страны в микроудобрениях составляет свыше 4 тыс. т действующего вещества в расчете на элемент. При этом недостаток в молибденовых удобрениях проявляется на площади в 10 млн. га, борных — 4 млн. га, медных — 0,6 млн. га. Представляется, что из-за отсутствия данных по содержанию микроэлементов в почвах многих регионов страны эти цифры являются заниженными.

В литературе имеется много сведений о положительном влиянии микроудобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Указывается, что эффективность микроудобрений наиболее полно проявляется на фоне высоких доз минеральных удобрений при условии соблюдения всех требований агротехники возделывания культур.

В работах Анспока П. И. (1974, 1975) показано, что борные удобрения проявляют большую эффективность на дерново-подзолистых известкованных почвах. Дмитриева О. М. (1971), Лашкевич Г. И. (1974), Калмыков Г. С. и др. (1977), Анспок П. И. (1978), Головина Л. П. и др. (1982, 1984) наблюдали высокую эффективность бора на аллювиальных, луговых и торфяных почвах. Отмечается, что от применения борных удобрений на разных типах почв получена прибавка урожая картофеля на 5—14%, зеленой массы кукурузы и зерна пшеницы — на 6,4—8,2%, кормовых бобов — 8,5—18,1%, кормовой свеклы — на 12%, белокочанной капусты — на 5%. Другие авторы (Щетинина Л. Л., Альшевский Н. Г., 1970; Дмитриева О. М., 1971; Лашкевич Г. И., 1974; Кормилицын В.Ф., 1975) отмечают высокую отзывчивость люцерны,

горохово-овсяной смеси, сахарной свеклы, гороха, ячменя, многолетних трав, бобовых культур, моркови и салата на внесение борных удобрений.

Медные удобрения эффективны на торфяно-болотных почвах. Большая заслуга в их изучении принадлежит Лашкевичу Г. И. (1974); Анспоку П. И. (1975); Потатуевой Ю. А. и др. (1975); Головиной Л. П. (1982) и др. Этими авторами установлено, что внесение медных удобрений повышает урожайность зерна яровой пшеницы на 6—14, зерна ячменя — на 7,6—14,6 ц/га, зеленой массы кукурузы — на 14,1—25,3%, картофеля — на 20%, моркови — на 14—20%, кормовой свеклы — на 17%, а также оказывает высокое положительное действие на овощные культуры и многолетние травы.

Анспоком П. И. (1975) показано, что эффективность внесения медных удобрений тесно связана со свойствами торфяно-болотных почв, и прежде всего с реакцией среды, определяющей подвижность и доступность микроэлемента растениям. Каталымов М. В. (1970) к важнейшим факторам, определяющим эффективность медных удобрений, относит содержание подвижной формы микроэлемента в почвах и биологические особенности возделываемых культур.

Как показали исследования других авторов, применение медных удобрений высокоэффективно не только на торфяно-болотных почвах. Весомые прибавки урожая пшеницы, гороха, кукурузы, картофеля получены в опытах Амирджания Ж. А. и др. (1972), Макеева О. В. (1973) на разных видах луговых почв. Высокая эффективность внесения медных удобрений (на разных типах почв под различные сельскохозяйственные культуры) показана в работах Бахнова В. К. (1971), Шевчука В. Е. (1971), Петербургского А. В. (1972).

Первые опыты с марганцевыми удобрениями в России были проведены Гедройцем К. К. в 1904—1912 гг. Им установлено, что внесение марганца повышало урожай гороха и клевера, причем наилучший эффект наблюдался на известкованных почвах.

Марганцевые удобрения наиболее эффективны под сахарную свеклу, пшеницу, картофель, овощные и другие культуры, главным образом, на почвах с нейтральной и слабощелочной реакцией, на карбонатных черноземах, каштановых почвах, сероземах и известкованных дерново-подзолистых почвах с низким содержанием подвижного марганца.

В опытах, проведенных на разных типах почв, при внесении марганцевых удобрений наблюдалось увеличение урожая зерна ячменя и яровой пшеницы на 2,9—19,3%, зеленой массы кукурузы — на 3,3—20,5% (Ивченко А. С., 1971; Власюк П. А., 1975; Анпок П. И., 1978).

Многочисленные исследования отечественными и зарубежными учеными проведены по установлению влияния молибденовых удобрений на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В работах некоторых исследователей (Пейве Я. В., 1972; Школьник М. Я., 1974; Петербургский А. В., 1981) показана исключительно высокая эффективность молибдена под бобовые культуры, особенно на кислых дерново-подзолистых почвах.

По данным многочисленных опытов, проведенных разными авторами, молибденовые удобрения повышали урожай зерна гороха, кормовых бобов и фасоли на 8—47%. Средняя прибавка урожая сена люцерны от внесения молибденовых удобрений составляла 12—21 ц/га, клевера — 6—7 ц/га (Пейве Я. В., 1972).

В многолетних опытах Скворцова В. Ф., Собачкиной Л. Н. и др. (1982) на кислой дерново-подзолистой суглинистой почве внесение их повышало урожай вико-овсяной смеси на 2,4 ц/га, а урожай зеленой массы бобов в целом за три года повышался в среднем на 30,7—39,3 ц/га, гороха — на 18—22 ц/га, сена клевера — на 7,2—2,9 ц/га. Более слабым было действие молибденовых удобрений на озимую пшеницу и картофель.

Однако не только бобовые культуры хорошо отзываются на внесение молибдена. По опытным данным Айзупиет Л. П. и др. (1969), применение молибденовых удобрений способствовало повышению урожая гречихи на 18—25%, кормовой свеклы — на 27%, зерновых культур — на 6—73%, кукурузы на силос — 5—30%, ячменя — на 10—40%.

Высокая эффективность внесения молибдена под различные сельскохозяйственные культуры на разных типах почв отмечена в работах Тонконоженко Е. Б. (1969); Журовской В. Я. (1972); Нелюбовой Г. Л., Старовойтовой В. П. (1980); Власюка П. А. и др. (1973).

Кобальтовые удобрения и их влияние на урожай сельскохозяйственных культур в настоящее время находятся в стадии интенсивного изучения и еще не нашли широкого применения. Имеющиеся в литературе данные по эффективности данных удобрений немногочисленны и весьма противоречивы. Некоторые авторы (Минина Е. И., 1973; Мальгин М. А., 1974, 1977) отмечают отсутствие положительного действия кобальтовых удобрений на урожай зерновых культур, клевера и многолетних трав.

Другие исследователи указывают на высокое положительное действие кобальтовых микроудобрений на урожай сельскохозяйственных культур на разных типах почв. По данным Головиной Л. П. (1982), на дерново-подзолистых супесчаных и торфяных почвах внесение микроэлемента повышало урожай сахарной свеклы на 10—28%, картофеля — на 12-26%, гороха и кормовых бобов — на 15—20%, моркови —

на 8—9%, зеленой массы и кукурузы — 7,6—10%, многолетних трав — на 8—19%. Высокую эффективность кобальта под различные сельскохозяйственные культуры отмечают также и некоторые другие ученые (Пейве Я. В., 1971).

Сравнительно небольшое количество работ отечественных и зарубежных ученых посвящено изучению действия цинковых удобрений на урожай сельскохозяйственных культур на разных типах почв. Некоторыми исследователями показано, что внесение цинка способствовало повышению урожая зерна ячменя и пшеницы на 6,3—20,9%, зеленой массы кукурузы — на 6—14%, сахарной свеклы — на 9—14%, травосмесей — на 29% (Ивченко А. С., 1971).

Некоторые авторы (Анспок П. И., 1975; Опенлендер И. В., 1979) особенности действия цинка на урожай сельскохозяйственных культур связывают с реакцией почвенной среды и обеспеченностью почв подвижным цинком. При этом указывается, что эффективность цинковых удобрений значительно повышается на почвах слабокислых и близких к нейтральным и, как правило, с низким содержанием подвижного цинка.

Несмотря на значительную эффективность внесения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры, они еще недостаточно широко применяются в сельскохозяйственном производстве.

В решении проблемы рационального применения микроудобрений в практике сельскохозяйственного производства важным является правильный выбор оптимальных доз и способов внесения удобрений. Ряд авторов отмечают традиционный способ применения микроудобрений — непосредственное внесение их в почву.

Не менее эффективным способом внесения микроудобрений является предпосевная обработка семян, проводимая, как правило, совместно с протравливанием. При этом способе расходуется значительно меньше микроудобрений, что позволяет применять их на больших площадях, а простота и общедоступность технологии делает возможным использовать его во всех хозяйствах.

Результативность данного способа применения микроудобрений изучена многими исследователями (Савченко Л. П., 1970; Ивченко А. С., 1971; Озолина Г. Г., Лапиня Л. П., 1971; Петербургский А. В. и др., 1972; Тищенко И. В., 1974; Харьков Г. Д., Полегаева Л. К., 1975; Анспок П. И., 1978; и др.). Так, на дерново-подзолистых почвах обработка семян сернокислым марганцем повышала урожай зерновых на 12—28%, а зеленой массы кукурузы — на 6—9,5%. Молибденовокислый аммоний способствовал повышению урожая клевера и люцерны на 14—20%, ячменя — на 6—7%, а сернокислый цинк — урожая ячменя и пшеницы — на 12—14%, кукурузы — на 9—18%.

Некоторые авторы (Скворцов В. П., Ширнина М. Ф., 1971; Гринкевич Н. И. и др., 1973; Гончаров П. Л., 1976; Христов Г., 1978) считают, что микроудобрения можно вносить в виде подкормки — опрыскивания растений в период вегетации растворами солей микроэлементов. Указывается, что опрыскивание растений кукурузы 0,01%-ным раствором сернокислого цинка давало прибавку урожая зеленой массы кукурузы на 16%. Однако другие исследователи (Кукреш Н. П., 1971; Вигутова А. Я., 1973) отмечают, что при данном приеме применения микроудобрений прибавка урожая сельскохозяйственных культур ниже по сравнению с внесением микроэлементов в почву или предпосевной обработкой семян.

В период с 1968 по 1982 г. нами изучалась эффективность различных доз и способов внесения микроудобрений под ведущие сельскохозяйственные культуры на основных типах почв области. Исследования проводились с учетом свойств почв, запасов в них микроэлементов, биологических особенностей культур и их отзывчивости на вносимые элементы, что позволило подтвердить прогнозы нуждаемости почв в микроэлементах, сделанные по данным химических анализов, установить оптимальные дозы и способы внесения микроудобрений и разработать научно обоснованную систему их применения.

При непосредственном внесении в почву микроудобрения брались в следующих формах и дозах (кг/га элемента): борные (борная кислота — 0,5, 1 и 2; медные (сульфат меди) — 2, 5 и 8; марганцевые (сульфат марганца) — 3, 6 и 12; кобальтовые (сульфат кобальта) — 0,3, 0,6 и 1,2; молибденовые (молибденовокислый аммоний) — 0,3, 0,6 и 1,2; цинковые (сульфат цинка) — 2, 4 и 8.

Кроме этого способа — внесения микроудобрений в почву, изучалось действие предпосевного смачивания семян и опрыскивания растений в период вегетации растворами солей микроэлементов. Для предпосевного смачивания семян применялись следующие концентрации растворов в расчете на элемент: бора — 0,02%, меди — 0,01%, марганца — 0,06%, молибдена — 0,3%, кобальта — 0,2% и цинка — 0,05%. Расход воды для обработки крупных семян (зерновые хлеба, кукуруза, однолетние бобовые культуры) составлял 2 л на 1 ц семян, мелких семян (многолетние травы) — 12 л, корнеплодов с нормой высева 0,04-0,4 ц/га — 7 л.

Опрыскивание растений проводили в фазы интенсивного роста, но не менее чем за 8—10 дней до начала цветения. Концентрация растворов солей микроэлементов — в два раза меньше, чем для предпосевного смачивания семян. Расход воды брали из расчета 300 л/га.

Полевые опыты проводились в 4-кратной повторности с соблюдением общепринятых для области и данных культур агротехнических правил. В опытах использовались районированные сорта: ячмень — Майя, кукуруза — Стерлинг, кормовые бобы — Херц-Фрея, тимopheевка луговая — Майская, кормовая свекла — Эккендорфская желтая. Размер учетных делянок был следующим: ячмень и тимopheевка — 50 м², кукуруза, кормовые бобы и свекла — 100 м². Достоверность полученных прибавок урожая была оценена с использованием методов математической статистики (Доспехов Б. А., 1972).

Для выявления действия микроудобрений на урожай и качество различных сельскохозяйственных культур, а также для установления пороговых интервалов запаса микроэлементов в почвах с целью разработки градаций обеспеченности их микроэлементами в период с 1970 по 1982 г. были проведены опыты с ведущими сельскохозяйственными культурами (ячменем, кормовыми бобами, кукурузой, тимopheевкой луговой, кормовой свеклой) на 11 почвах, различающихся по типу и запасам микроэлементов. Агрохимическая характеристика и запас микроэлементов в почвах опытных участков приведены в таблице 72.

Существенное влияние на уровень эффективного действия микроэлементов оказывает способ внесения микроудобрений. Как правило, наиболее высокие прибавки зерна ячменя получены при внесении микроудобрений в почву и предпосевном смачивании семян растворами солей микроэлементов. Меньший эффект получен от некорневого опрыскивания растений в период их вегетации растворами микроудобрений. Прибавки урожая зерна ячменя, полученные при внесении под эту культуру борных, марганцевых и молибденовых микроудобрений, оказались незначительными.

В таблице 73 представлены обобщенные данные по эффективности медных, цинковых и кобальтовых микроудобрений под ячмень на почвах с разной обеспеченностью микроэлементами.

На почвах с низким запасом меди (меньше 7 кг/га) лучшие результаты дает внесение в почву 4—8 кг/га медных удобрений в пересчете на элемент, на почвах среднеобеспеченных (с запасом меди 7—12 кг/га) — 2 кг/га. Внесение медных удобрений в почву позволяет повысить урожай зерна ячменя в среднем на 6,4—12%.

Оптимальная норма внесения цинковых удобрений на почвах с низкой обеспеченностью цинком (меньше 2 кг/га) — 8 кг/га, а на среднеобеспеченных (с запасом элемента 2—4 кг/га) — 2 кг/га. При этом урожай ячменя повышается на 8,8—15,6%.

Агрохимическая характеристика и запас микроэлементов в почвах опытных участков

Гу- мус, %	pH	Мг/экв/100 г		V, %	Мг/100 г		Микроэлементы, кг/га						
		Н	S		P ₂ O ₅	K ₂ O	В	Cu	Mn	Mo	Co	Zn	
№ 1. Дерново-подзолистая супесчаная													
1,9	5,3	2,8	5,6	66,8	8,6	10,9	0,6	5,1	96	0,12	2,7	1,2	
№ 2. Дерново-подзолистая супесчаная													
2,1	5,2	2,9	6,9	70,4	4,9	9,4	0,4	3,5	48	0,13	3,3	1,8	
№ 3. Дерново-подзолистая супесчаная													
1,8	5,4	2,4	7,3	75,2	5,7	11,7	0,9	6,8	74	0,09	0,8	0,8	
№ 4. Дерновая глееватая													
4,8	6,3	2,2	22,1	90,9	6,2	12,0	1,4	7,4	164	0,14	1,3	2,8	
№ 5. Дерново-подзолистая легкосуглинистая													
3,1	5,7	1,4	12,3	89,8	9,7	13,8	0,8	9,2	121	0,11	6,8	2,2	
№ 6. Дерново-подзолистая легкосуглинистая													
2,9	5,3	2,9	11,9	80,4	11,4	16,6	0,3	11,5	198	0,09	4,2	3,8	
№ 7. Дерново-подзолистая среднесуглинистая													
3,3	5,7	1,5	14,7	90,7	12,7	19,4	1,6	14,4	398	0,17	8,1	6,2	
№ 8. Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая													
3,8	6,6	1,9	29,6	94,1	9,8	17,5	1,9	12,8	249	0,11	5,8	4,6	
№ 9. Дерново-подзолистая тяжелосуглинистая													
3,6	5,4	2,5	13,9	84,8	13,9	22,3	2,1	17,0	467	0,07	4,5	5,4	
№ 10. Аллювиальная													
6,3	8,3	7,8	49,5	86,4	10,9	11,3	1,9	12,4	84	0,08	3,1	5,1	
№ 11. Осушаемая торфяная													
31,2	5,5	13,5	72,0	84,2	4,5	29,5	1,0	5,3	45	0,04	1,2	0,9	

Более слабое, но существенное влияние на растения оказывают кобальтовые удобрения. Внесение в почву этих удобрений в дозе 0,6—1,2 кг/га повышало урожай зерна ячменя на 5%.

На почвах с достаточным запасом микроэлементов (меди — >12 кг/га, цинка — >4 кг/га и кобальта — >5 кг/га) применять микроудобрения не рекомендуется. В ряде случаев дополнительное внесение микроудобрений приводит к снижению урожая ячменя.

Эффективным способом внесения микроудобрений является предпосевное смачивание семян растворами сернокислых солей меди,

**Эффективность внесения микроудобрений под ячмень
(обобщенные данные опытов 1970—1982 гг.)**

Почвы с низким запасом микроэлементов				Почвы, среднеобеспеченные микроэлементами			
Вариант	Урожай	Прибавка урожая	%	Вариант	Урожай	Прибавка урожая	%
	ц/га	ц/га			ц/га	ц/га	
Медные удобрения							
$N_{90} P_{90} K_{90}$ - фон	30,8	-	-	$N_{90} P_{90} K_{90}$ - фон	34,2	-	-
Фон + Cu 4-8 кг/га	35,0	4,2	12,0	Фон + Cu 2 кг/га	36,4	2,2	6,4
Смачивание семян	33,9	3,1	9,1	Смачивание семян	35,8	1,6	4,7
Опрыскивание растений	33,0	2,2	6,7	Опрыскивание растений	35,3	1,1	3,2
НСР $_{05,ц/га}$ - 1,8; Р, % - 2,9				НСР $_{05,ц/га}$ - 1,0; Р, % - 2,8			
Цинковые удобрения							
$N_{90} P_{90} K_{90}$ - фон	30,8	-	-	$N_{90} P_{90} K_{90}$ - фон	34,2	-	-
Фон + Zn 8 кг/га	36,5	5,7	15,6	Фон + Zn 2 кг/га	37,2	3,0	8,8
Смачивание семян	34,7	3,9	11,2	Смачивание семян	36,7	2,5	7,3
Опрыскивание растений	33,3	2,5	7,5	Опрыскивание растений	35,1	1,2	3,4
НСР $_{05,ц/га}$ - 2,1; Р, % - 3,1				НСР $_{05,ц/га}$ - 4,1; Р, % - 2,6			
Кобальтовые удобрения							
$N_{90} P_{90} K_{90}$ - фон	32,3	-	-	$N_{90} P_{90} K_{90}$ - фон	35,7	-	-
Фон + Co 0,6-1,2 кг/га	34,0	1,7	5,0	Фон + Co 0,6 кг/га	37,5	1,8	5,0
Смачивание семян	33,6	1,3	3,9	Смачивание семян	36,9	1,2	3,4
Опрыскивание растений	32,6	0,3	0,9	Опрыскивание растений	36,4	0,7	2,0
НСР $_{05,ц/га}$ - 0,9; Р, % - 3,0				НСР $_{05,ц/га}$ - 1,1; Р, % - 2,7			

цинка и кобальта. Данный прием позволяет повысить урожай зерна ячменя на почвах, бедных микроэлементами, на 3,9—11,2%, а на среднеобеспеченных — на 3,4—7,3%.

Опрыскивание растений в период вегетации растворами сернокислых солей данных микроэлементов менее эффективно. Достоверные прибавки урожая (6,7—7,5%) получены при внесении данным способом медных и цинковых удобрений в почвы с низким запасом этих микроэлементов.

На почвах со средней обеспеченностью микроэлементами повышение урожая зерна при опрыскивании растений микроудобрениями не превышало 3,4%, но не оказало отрицательного действия.

Одной из положительных сторон данного способа внесения микроудобрений является возможность его применения в более поздние сроки при обнаружении недостаточности для растений того или иного микроэлемента.

Ячмень. Последние опыты показали, что в условиях региона под ячмень наиболее эффективно внесение медных, кобальтовых и цинковых удобрений. Эффективность этих микроудобрений определялась преимущественно уровнем запаса микроэлементов в почве и в меньшей степени зависела от почвенного типа.

Наиболее высокие прибавки урожая получены от внесения цинковых удобрений, что связано с крайне низким запасом подвижных форм элемента в почвах. Лишь на почвах с запасом цинка в пахотном слое больше 5 кг/га действие микроудобрения не проявлялось.

Высокоэффективным было также действие медных удобрений, особенно на осушаемых торфяных и дерново-подзолистых супесчаных почвах, характеризующихся крайне низкой обеспеченностью медью (около 5 кг/га). При уровне запаса микроэлемента в почвах больше 12 кг/га влияние микроудобрения слабое, прибавки урожая зерна незначительные.

Менее значительным, но существенным было действие кобальтовых микроудобрений. Причем оно проявлялось почти на всех типах почв, за исключением дерново-подзолистых тяжелосуглинистых с относительно высоким запасом подвижного кобальта.

Кормовые бобы являются одной из важных культур в регионе, имеющем животноводческое направление сельскохозяйственного производства (мясо-молочное животноводство). Эта культура выступает в качестве одного из главных источников белкового корма для крупного рогатого скота. Кормовые бобы в балансе кормовых культур занимают значительное место как в чистом виде, так и в смеси с различными силосными культурами.

Исследованиями ряда ученых (Каталымов М. В., 1965; Бахнов В. К., 1971; Пейве Я. В., 1971; Анспок П. И., 1978; Головина Л. П., 1982, 1984 и др.) показана высокая роль микроудобрений в повышении урожай-

ности бобовых культур. Однако влияние микроудобрений на урожай кормовых бобов в условиях региона до недавнего времени оставалось не изученным.

Анализ экспериментального материала свидетельствует о высокой эффективности применения микроудобрений под кормовые бобы. Ее уровень определяется преимущественно типом почвы и запасом в ней микроэлементов (табл. 74). Общей закономерностью является наиболее высокое действие на урожай бобовых молибденовых удобрений на всех изучаемых типах почв. Лучшие результаты получены при внесении в почву высоких доз удобрений (1,2 кг/га молибдена), а также от предпосевного смачивания семян раствором молибденовокислого аммония.

Подобная закономерность объясняется недостаточным запасом молибдена в почвах и высокой отзывчивостью кормовых бобов на вносимый элемент.

Борные удобрения в дозе 2 кг/га были наиболее эффективными на дерново-подзолистой почве, характеризующейся крайне низким запасом микроэлемента. Менее значительные, но существенные прибавки урожая зерна бобовых получены также на дерново-подзолистой легкосуглинистой, дерновой и осушаемой торфяной почвах, отнесенных по запасам бора к среднеобеспеченным данным микроэлементом.

Одной из характерных особенностей является более эффективное действие на таких почвах борных удобрений, вносимых в меньших дозах (0,5—1,0 кг/га бора). Эффективность предпосевного смачивания семян бобов раствором борной кислоты на данных почвах также менее значительна, по сравнению с почвами, бедными по запасам микроэлемента.

Влияние борных микроудобрений на урожай зерна бобов на почвах с запасом бора больше 1,5 кг/га было несущественным.

Положительное действие кобальтовых удобрений на урожай кормовых бобов проявлялось на всех изучаемых почвах, за исключением дерново-подзолистых, отнесенных по запасам кобальта к достаточно обеспеченным микроэлементом.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой, дерновой и осушаемой торфяной почвах с запасом кобальта от 0,8 до 1,4 кг/га оптимальная доза внесения кобальтовых микроудобрений в почву — 0,6—1,2 кг/га микроэлемента.

Приведенные данные позволяют сделать некоторые выводы о рациональном применении микроудобрений под кормовые бобы. Под данную культуру на всех типах почв региона необходимо, в первую очередь, вносить молибденовые удобрения. Наиболее эффективным приемом применения последних является внесение их в почву в дозе 1,2 кг/га молибдена, что позволяет повысить урожай зерна бобов в среднем на 13,9%.

Эффективность внесения микроудобрений под кормовые бобы (обобщенные данные опытов 1970—1982 гг.)

Почвы с низким запасом микроэлементов				Почвы, среднеобеспеченные микроэлементами			
Варианты	Урожай	Прибавка урожая	Варианты	Урожай	Прибавка урожая		
	ц/га	ц/га		ц/га	ц/га		
Малибденовые удобрения							
Р К ₆₀ - фон	22,5	-	-				
Фон + Мо 1,2 кг/га	25,6	3,1	13,9				
Смачивание семян	24,3	1,8	8,1				
Опрыскивание растений	23,7	1,2	5,3				
НСР _{0,5 ц/га} - 0,9; Р, % - 1,9							
Борные удобрения							
Р К ₆₀ - фон	21,1	-	-	Р К ₆₀ - фон	22,9	-	-
Фон + В 2 кг/га	22,6	2,5	12,3	Фон + В 0,5-1,0 кг/га	23,9	1,0	4,2
Смачивание семян	22,1	2,0	10,0	Смачивание семян	23,7	0,8	3,5
Опрыскивание растений	20,9	0,8	3,9	Опрыскивание растений	23,4	0,5	2,2
НСР _{0,5 ц/га} - 0,7; Р, % - 2,6							
Кобальтовые удобрения							
Р К ₆₀ - фон	22,9	-	-	Р К ₆₀ - фон	21,4	-	-
Фон + Со 0,6-1,2 кг/га	25,0	2,1	9,2	Фон + Со 0,3 кг/га	22,8	1,4	6,5
Смачивание семян	24,1	1,2	5,4	Смачивание семян	22,2	0,8	3,5
Опрыскивание растений	23,6	0,7	3,2	Опрыскивание растений	21,9	0,5	2,1
НСР _{0,5 ц/га} - 0,8; Р, % - 3,3							
НСР _{0,5 ц/га} - 0,6; Р, % - 3,7							

Существенным и достаточно высокоэффективным способом внесения данных удобрений под бобы является предпосевное смачивание семян и опрыскивание растений в период вегетации раствором молибденовокислого аммония. Эти приемы могут обеспечить повышение урожая зерна на 5—8%.

Борные удобрения в дозе 2 кг/га элемента способствуют повышению урожая бобов в среднем на 12,3% на почвах с запасом бора меньше 0,7 кг/га. На почвах с запасом элемента от 0,7 до 1,5 кг/га дозу вносимого бора необходимо снизить до 0,5—1 кг/га.

Предпосевное смачивание семян бобов раствором борной кислоты дает возможность повысить урожай на 3,5-10% в зависимости от обеспеченности почв бором. Менее эффективным можно считать способ опрыскивания растений раствором борной кислоты, поэтому принять его необходимо как вспомогательный прием внесения микроудобрений при обнаружении борной недостаточности у растений.

Кобальтовые удобрения эффективны на почвах с низким запасом кобальта (меньше 3 кг/га) в дозе 0,6—1,2 кг/га, а на почвах с запасом микроэлемента 3—5 кг/га — в дозе 0,3 кг/га элемента. Прибавка урожая зерна кормовых бобов при применении данного способа внесения микроудобрений может составить в среднем 6,5—9%. Положительные результаты дает и предпосевное смачивание семян раствором сернокислого кобальта, особенно на почвах с низкой обеспеченностью микроэлементом. Внесение кобальтовых удобрений данным способом обеспечивает повышение урожая зерна бобов до 5% и более. Слабое действие на урожай бобов оказывает опрыскивание растений в период вегетации раствором соли кобальта.

Внесение борных и кобальтовых микроудобрений на почвах с высоким запасом микроэлементов ($B > 1,5$ и $Co > 5$ кг/га) не рационально, прибавки урожая бобов здесь низкие и малодостоверные.

Кукуруза. В балансе сочных кормов кукурузный силос составляет около 60%.

Работами ряда отечественных и зарубежных ученых показана высокая роль микроэлементов в повышении урожая зеленой массы кукурузы. В исследованиях Сорочинского В. В. (1975) внесение марганцевых удобрений на почвах Эстонии повышало урожай зеленой массы кукурузы на 3,3—20,5%, а молибденовых — на 5—30%.

В Латвии на дерново-подзолистых почвах получена прибавка урожая кукурузы 4,6—16,6% при внесении цинковых удобрений (Анспек П. И., 1978). При этом внесение цинка в почву увеличивало урожай зеленой массы на 14—20%, предпосевная обработка семян 0,1%-ным раствором сернокислого цинка — на 9—18%, а некорне-

вая подкормка растений 0,01%-ным раствором этой соли — на 16%.

Полевые опыты по изучению влияния микроудобрений на урожай зеленой массы кукурузы проводились на едином агротехническом фоне ($N_{120}P_{90}K_{120}$), наиболее типичном для области. Устойчивые и достоверные прибавки урожая кукурузы получены от действия марганцевых, молибденовых и цинковых удобрений (табл. 75).

Представленный материал свидетельствует о неодинаковом действии на кукурузу отдельных видов микроудобрений на разных типах почв. Более сильное влияние молибденовых и особенно цинковых удобрений объясняется, с одной стороны, спецификой данной культуры и ее отзывчивостью на вносимые элементы, с другой — крайней бедностью почв по запасам этих микроэлементов.

Существенное действие марганцевых микроудобрений на урожай зеленой массы кукурузы проявлялось на почвах, отнесенных по запасам микроэлемента к среднеобеспеченным. При этом, марганец здесь был эффективен в сравнительно невысоких дозах — 3—6 кг/га. На аллювиальной и торфяной почвах, характеризующихся низким запасом марганца (меньше 100 кг/га), марганцевые удобрения оказывали положительное действие на урожай кукурузы в более высоких дозах — 6—12 кг/га. Лучший способ их внесения — предпосевное смачивание семян кукурузы раствором сернокислого марганца.

Молибденовые удобрения положительно влияли на урожай зеленой массы кукурузы на всех изучаемых почвах, причем лучшими дозами микроудобрения были 0,6—1,2 кг микроэлемента на гектар. Высокоэффективным было также предпосевное смачивание семян раствором молибденовокислого аммония, а в ряде случаев и опрыскивание растений в период вегетации раствором этой соли.

Влияние цинковых удобрений на урожай кукурузы было существенным на почвах с запасом микроэлемента ниже 4 кг/га.

Таким образом, рациональное применение микроудобрений под кукурузу должно основываться на сведениях о почвенных типах, их агрохимических свойствах и микроэлементном составе. Выбор доз и способов применения марганцевых и цинковых удобрений должен проводиться с учетом запасов в почве данных микроэлементов. Молибденовые удобрения можно применять под кукурузу на всех типах почв, причем вносить их необходимо в повышенных дозах — 0,6—1,2 кг/га молибдена. Обязательным приемом применения микроудобрений должна быть предпосевная обработка семян растворами солей микроэлементов, что обеспечит повышение урожая зеленой массы кукурузы на 5—9%. Опрыскивать растения следует в

Эффективность внесения микроудобрений под кукурузу (обобщенные данные опытов 1970—1982 гг.)

Почвы с низким запасом микроэлементов				Почвы, среднеобеспеченные микроэлементами			
Варианты	Урожай	Прибавка урожая	%	Варианты	Урожай	Прибавка урожая	
	ц/га	ц/га			ц/га	ц/га	%
Марганцевые удобрения							
$N_{120} P_{90} K_{120}$ - фон	327,5	-	-	$N_{120} P_{90} K_{120}$ - фон	320,8	-	-
Фон + Mn 6-12 кг/га	362,4	34,9	10,7	Фон + Mn 3 кг/га	351,3	30,5	9,5
Смачивание семян	350,5	23,0	7,0	Смачивание семян	335,3	14,5	4,5
Опрыскивание растений	341,2	13,7	4,2	Опрыскивание растений	330,0	9,2	2,9
НСР $_{05. и/га}$ - 11,7; Р, % - 3,4				НСР $_{05. и/га}$ - 9,3; Р, % - 3,7			
Молибденовые удобрения							
$N_{120} P_{90} K_{120}$ - фон	328,1	-	-				
Фон + Mo 0,6-1,2 кг/га	363,1	35,0	10,7				
Смачивание семян	350,9	22,8	7,0				
Опрыскивание растений	344,2	16,1	4,9				
НСР $_{05. и/га}$ - 12,1; Р, % - 2,9							
Цинковые удобрения							
$N_{120} P_{90} K_{120}$ - фон	313,6	-	-	$N_{120} P_{90} K_{120}$ - фон	335,7	-	-
Фон + Zn 4-8 кг/га	358,6	45,0	14,3	Фон + Zn 2-4 кг/га	369,6	33,9	10,1
Смачивание семян	340,2	26,6	8,5	Смачивание семян	356,1	20,4	6,1
Опрыскивание растений	330,6	17,0	5,4	Опрыскивание растений	348,4	12,7	3,4
НСР $_{05. и/га}$ - 16,9; Р, % - 3,1				НСР $_{05. и/га}$ - 12,4; Р, % - 2,8			

первую очередь, растворами цинковых и молибденовых солей, а на почвах с низким запасом марганца — и раствором сернокислой соли этого элемента.

Многолетние травы. В решении кормовой проблемы значительный удельный вес занимают лугопастбищные угодья и сеяные травы. Из сеяных трав наиболее распространенной на территории региона является тимopheевка луговая.

Исследованиями ряда отечественных и зарубежных ученых доказано, что микроэлементы являются дополнительным резервом повышения урожайности сельскохозяйственных культур, повышения продуктивности лугов и пастбищ, в том числе и сеяных многолетних трав (Морозов А. С., 1973; Васяев Г. В., 1974; Янкус А. С., 1975 и др.).

В опытах, проведенных в Латвии (Анспок П. И., 1978), подкормка лугов сернокислой медью повышала урожай сена на 11—35%, а медью совместно с молибденом — до 57%. При этом продуктивность пастбищ повышалась на 20%. Высокую эффективность медных удобрений под многолетние травы на торфяно-болотных почвах отмечает Головина Л. П. (1982). Так, применение кобальтовых удобрений повышало урожай многолетних трав на 6,8—19%. Значительное влияние молибденовых, кобальтовых, марганцевых и медных микроудобрений на урожай тимopheевки луговой показано в работе Лупиновича И. С. (1973).

Полевые опыты по изучению влияния микроудобрений на урожай сена многолетних трав проводились на фоне $N_{90}P_{60}K_{90}$. Преобладающей культурой в сеяных многолетних травах была тимopheевка луговая. Существенные и достоверные прибавки урожая сена тимopheевки получены от действия медных, кобальтовых и молибденовых удобрений. Борные, марганцевые и цинковые удобрения под данную культуру были менее эффективными (табл. 76).

Приведенные данные показывают, что влияние микроудобрений на урожай сена тимopheевки луговой специфично. Эта специфика определяется типом почвы и запасом в ней микроэлементов, а также видом, дозой и способом внесения удобрений.

Сравнительно слабое действие на урожай тимopheевки оказывали кобальтовые удобрения. При внесении последних в почву наибольшие прибавки урожая сена составляли 8,9—10,3%. Более эффективным было влияние молибденовых и медных удобрений, при внесении которых урожай повышался соответственно на 10,8 и 11,3—16,8%. На почвах с низкой обеспеченностью медью и кобальтом лучшими дозами микроудобрений оказались соответственно 4—8 и 0,6—1,2 кг/га, что обеспечивает повышение урожая сена трав в среднем на 10—17%.

Эффективность внесения микроудобрений под тимopheевку луговую (обобщенные данные опытов 1968—1977 гг.)

Почвы с низким запасом микроэлементов				Почвы, среднеобеспеченные микроэлементами			
Варианты	Урожай	Прибавка урожая		Варианты	Урожай	Прибавка урожая	
	ц/га	ц/га	%		ц/га	ц/га	%
Кобальтовые удобрения							
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	54,3	-	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	48,3	-	-
Фон + Со 0,6-1,2 кг/га	59,9	5,6	10,3	Фон + Со 0,3-0,6 кг/га	52,6	4,3	8,9
Смачивание семян	58,9	4,6	8,5	Смачивание семян	50,4	2,1	4,3
Опрыскивание растений	57,5	3,2	5,9	Опрыскивание растений	49,8	1,5	3,1
НСР _{05, ц/га} - 2,6; Р, % - 3,6				НСР _{05, ц/га} - 1,6; Р - 2,9			
Молибденовые удобрения							
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	51,1	-	-				
Фон + Мо 0,6-1, 2 кг/га	56,6	5,5	10,8				
Смачивание семян	55,6	4,5	8,8				
Опрыскивание растений	54,2	3,1	6,1				
НСР _{05, ц/га} - 2,5; Р, % - 2,8							
Медные удобрения							
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	53,1	-	-	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ - фон	50,3	-	-
Фон + Cu 4-8 кг/га	62,0	8,9	16,7	Фон + Cu 2-4 кг/га	56,0	5,7	11,3
Смачивание семян	59,5	6,4	12,0	Смачивание семян	53,5	3,2	6,4
Опрыскивание растений	57,7	4,6	8,7	Опрыскивание растений	52,5	2,2	4,4
НСР _{05, ц/га} - 2,8; Р, % - 3,2				НСР _{05, ц/га} - 2,2; Р, % - 3,1			

Эффективность внесения микроудобрений под урожай кормовой свеклы (обобщенные данные опытов 1970—1980 гг.)

Почвы с низким запасом микроэлементов				Почвы, среднеобеспеченные микроэлементами			
Варианты	Урожай	Прибавка урожая		Варианты	Урожай		Прибавка урожая
	ц/га	ц/га	%		ц/га	ц/га	
Марганцевые удобрения							
$N_{120} P_{90} K_{120}$ — фон	454,4	-	-	$N_{120} P_{90} K_{120}$ — фон	445,3	-	-
Фон + Mn 6-12 кг/га	504,3	46,9	10,2	Фон + Mn 3 кг/га	472,3	27,0	6,1
Смачивание семян	497,9	40,5	8,8	Смачивание семян	472,0	26,7	6,0
Опрыскивание растений	490,0	33,5	7,3	Опрыскивание растений	466,5	21,2	4,7
НСР $_{05.ц/га}$ - 24,1; Р, % - 3,3				НСР $_{05.ц/га}$ - 20,7; Р, % - 3,6			
Борные удобрения							
$N_{120} P_{90} K_{120}$ — фон	412,7	-	-	$N_{120} P_{90} K_{120}$ — фон	465,2	-	-
Фон + В 2кг/га	471,3	58,6	14,2	Фон + В 0,5—1 кг/га	515,1	49,9	10,7
Смачивание семян	447,5	34,8	8,4	Смачивание семян	510,2	45,0	9,7
Опрыскивание растений	440,1	27,4	6,6	Опрыскивание растений	500,4	35,2	7,6
НСР $_{05.ц/га}$ - 21,7; Р, % - 3,1				НСР $_{05.ц/га}$ - 27,8; Р, % - 2,9			
Цинковые удобрения							
$N_{120} P_{90} K_{120}$ — фон	444,4	-	-	$N_{120} P_{90} K_{120}$ — фон	474,2	-	-
Фон + Zn 8 кг/га	500,8	56,4	12,7	Фон + Zn 2—4 кг/га	520,5	46,3	9,8
Смачивание семян	493,9	49,5	11,1	Смачивание семян	507,7	33,5	7,1
Опрыскивание растений	478,4	34,0	7,0	Опрыскивание растений	501,4	27,2	5,7
НСР $_{05.ц/га}$ - 25,2; Р, % - 2,9				НСР $_{05.ц/га}$ - 26,1; Р, % - 3,0			

На почвах, среднеобеспеченных данными элементами, дозы медных и кобальтовых удобрений под многолетние травы ниже и соответственно составляют 2—4 и 0,3—0,6 кг/га. Урожай сена при этих дозах повышается на 9—11%. На почвах с достаточной обеспеченностью медью и кобальтом дополнительное внесение этих микроудобрений не повышает урожай. Лучшей дозой молибденовых удобрений на травах является от 0,6 до 1,2 кг/га.

Высокоэффективный способ внесения удобрений предпосевное смачивание семян растворами сернокислых солей меди и кобальта, а также молибденово-кислого аммония. На почвах, бедных по запасам микроэлементов, этот способ внесения микроудобрений позволит повысить урожай трав в среднем на 8—12%, а на среднеобеспеченных — на 4—6%.

Опрыскивание растений растворами микроэлементов в период отрастания трав лучше применять на почвах, бедных по запасам данных элементов. При этом устойчивое достоверное повышение урожая сена составляет 6—8%. Менее эффективен этот способ внесения микроудобрений на почвах, среднеобеспеченных медью и кобальтом.

Кормовая свекла. Влияние микроэлементов на урожай данной культуры изучено недостаточно. Имеющиеся в литературе немногочисленные данные свидетельствуют о высоком влиянии микроэлементов на сахарную свеклу и кормовые корнеплоды (Лупинович И. С. и др. 1970; Павленко И. Ф., 1970; Мисник А. Г., 1972; Щетинина Л. Л., 1975).

В работе Головиной Л. П. и др. (1982, 1984) показано, что внесение кобальтовых удобрений под кормовую свеклу повышало урожай клубней на 10—20 ц/га и на 17% при применении медных микроудобрений. Высокая эффективность борных и марганцевых удобрений под данную культуру получена в исследованиях других авторов (Пейве Я. В., 1971; Анспок П. И., 1975 и др.).

В период с 1970 по 1980 г. были проведены полевые эксперименты по установлению эффективности микроудобрений под кормовую свеклу. Опыты проводились на основных типах почв — дерново-подзолистых, дерновых, аллювиальных и осушаемых торфяных, различающихся по агрохимическим свойствам и запасам микроэлементов.

Исследования показали, что наиболее эффективным под кормовую свеклу является внесение марганцевых, борных и цинковых удобрений. Реакция данной культуры на внесение микроудобрений определялась ее отзывчивостью на вносимый элемент, что связано с физиологическими особенностями культуры, а также типом почвы и уровнем запаса микроэлементов в пахотном слое (табл. 77).

На дерново-подзолистой супесчаной, дерновой и осушаемой торфяной почвах, характеризующихся низкой или средней обеспеченностью марганцем, бором и цинком, эффективно применение микроудобрений под кормовую свеклу. При этом на дерново-подзолистой супесчаной и дерновой почвах лучше вносить по 3 кг/га марганца, а на осушаемой торфяной — 6 кг/га.

Дерново-подзолистая супесчаная почва характеризуется низким запасом бора и цинка, поэтому здесь эффективно применение борных удобрений в дозе 1,0 кг/га элемента, а цинковых — 4 кг/га. Такие же дозы борных и цинковых удобрений необходимо вносить на осушаемой торфяной почве. На дерново-подзолистой легко- и тяжелосуглинистой, а также аллювиальной почве вид и норма микроудобрений определялись, главным образом, запасом микроэлементов в пахотном слое. Так, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с запасом цинка (более 4 кг/га) и марганца (свыше 200 кг/га) и средней обеспеченностью бором (0,7—1,5 кг/га) достоверные прибавки урожая были получены от внесения борных удобрений в дозе 1 кг/га элемента, а на тяжелосуглинистой с запасом марганца выше 200, бора — выше 1,5 и цинка — от 2 до 4 кг/га — лишь цинковых удобрений в дозе 2 кг/га цинка.

Аналогичная закономерность прослеживалась и в действии микроудобрений на урожай кормовой свеклы на аллювиальной почве. Здесь при запасе цинка в пахотном слое 5,1 кг/га, бора — 1,9 кг/га и марганца 84 кг/га наиболее оптимальным было внесение только марганцевых микроудобрений в дозе 12 кг/га элемента.

Высокоэффективным способом внесения микроудобрений под кормовую свеклу является предпосевное смачивание семян раствором солей микроэлементов, а в ряде случаев и опрыскивание растений в период вегетации.

Предпосевное смачивание семян кормовой свеклы раствором сульфата марганца позволило повысить урожай корнеплодов на 6—9%, а опрыскивание растений раствором этой соли — на 4,7—7,3%.

Предпосевная обработка семян раствором сульфата цинка давала прибавку урожая на разных типах почв в среднем на 7—11%, а опрыскивание растений раствором этой соли — на 5,7—7,7%.

Проведенные эксперименты подтвердили правильность оценки обеспеченности разных типов почв микроэлементами по их запасам в 1 кг/га пахотного слоя. Они позволили экспериментально установить пределы градаций обеспеченности почв подвижными формами бора, меди, марганца, кобальта и цинка, что легло в основу характеристики микроэлементной обстановки на территории изучаемого региона.

Одной из главных проблем в практике применения микроудобрений является правильный выбор способа их внесения. Согласно экс-

периментальным данным, наибольший эффект дает внесение микроудобрений в почву. При этом наблюдается длительное положительное последствие микроудобрений. По данным ряда авторов (Лашкевич Г. И., 1974; Бахнов В. К., 1977), бор в последствии эффективен в течение 4—5 лет, медь — 6—8, молибден — 3—8 и цинк — 4—5 лет. Однако внесение микроудобрений данным способом в практике сельскохозяйственного производства сдерживается из-за значительного расхода дорогостоящих солей микроэлементов и несовершенства технологии их равномерного внесения.

Более предпочтителен прием предпосевного смачивания семян растворами солей микроэлементов. Его можно рекомендовать для повсеместного внедрения в производство.

Опрыскивание растений в период вегетации растворами солей микроэлементов дает существенную прибавку урожая различных сельскохозяйственных культур, особенно на почвах, крайне бедных по запасам данных элементов. Поэтому внедрение данного способа внесения микроудобрений в сельскохозяйственное производство, а в ряде случаев и совмещение его с предпосевным смачиванием семян, явится дополнительным резервом повышения урожайности культур.

8.2. Влияние микроудобрений на качество урожая

Изменение содержания белка и аминокислот

В литературе имеются многочисленные сведения о положительном влиянии микроэлементов на азотный обмен, а следовательно, на содержание протеина, общего и белкового азота, а также на аминокислотный состав (Савченко Л. П., 1970; Белокобыльский И. М., Малыгина В. Ф., 1971; Власюк П. А. и др., 1973; Жизневская Г. Я., Бороденко Л. И., 1974; Анспок П. И., 1975, 1978; Кормилицын В. Ф., 1975). При этом установлено, что количество белка и его аминокислотный состав для каждой сельскохозяйственной культуры строго специфичен. Так, по данным Томмэ М. Ф., Мартыненко Р. В. (1972) содержание сырого протеина в зерне ячменя колеблется в пределах 9—16%, зерне кормовых бобов — 24—33%, зеленой массе кукурузы — 1,2—2,6%, в свекле кормовой — 1—1,5%, сене тимофеевки — 8—9%.

Содержание белка в зерне ячменя может изменяться от 77 до 143 г., зерне бобов — от 220 до 280 г, зеленой массе кукурузы — от 10 до 22 г в 1 кг вещества естественной влажности, причем на белковую форму азота приходится 75—95% от содержания протеина.

В работах отечественных и зарубежных ученых показано, как внесение микроудобрений способствует увеличению содержания сырого

протеина и белка в разных сельскохозяйственных культурах (Петербургский А. В. и др., 1972; Скворцов В. Ф., Ерохина Е. Н., 1974). Ими установлено, что внесение борных, марганцевых, молибденовых и медных удобрений под кукурузу увеличивало содержание протеина, общего азота и белка в растениях. Скворцов В. Ф., Собачкина Л. Н., Рыхлова М. М. (1972); Кормилицын В. Ф. (1975); Мальгин М. А. (1974) наблюдали увеличение содержания протеина в зерне ячменя, пшеницы, овса под влиянием микроудобрений. Положительное действие микроэлементов на содержание протеина и белка в кормовых бобах, горохе, фасоли установлено разными учеными (Бердникова А. Б., 1972; Петербургский А. В., 1972; Амгалан Ж., 1973; Власюк П. А. и др., 1973), сене разнотравном — Янкусом А. С., (1975).

Проведенные исследования и полученный нами экспериментальный материал свидетельствуют о положительном влиянии оптимальных доз микроудобрений на почвах с разной обеспеченностью микроэлементами на содержание сырого протеина, белка и аминокислот в основных сельскохозяйственных культурах.

Данные показывают, что при среднем уровне содержания сырого протеина в зерне ячменя 13,3%, зерне кормовых бобов — 26,9%, зеленой массе кукурузы — 2,1%, сене тимopheевки луговой — 8,1% и корнеплодах кормовой свеклы — 1,3% количество его под влиянием микроудобрений возрастает от 0,1 до 2,5 абсолютного процента. Увеличение содержания сырого протеина в разных сельскохозяйственных культурах под действием микроэлементов неодинаковое. Оно более высокое у кормовых бобов и ячменя — соответственно от 0,2 до 2,5 и от 0,6 до 1,2% и менее значительно у кукурузы, многолетних трав и кормовой свеклы — от 0,1 до 0,4%

Уровень влияния отдельных микроэлементов на содержание сырого протеина в растениях также неодинаковый. Микроэлементы по их действию на количество протеина в зерне ячменя образуют убывающий ряд: $Zn > Co > Cu$, зерне кормовых бобов — $Mo > Co > B$, зеленой массе кукурузы — $Zn > Mo > Mn$, сене многолетних трав — $Cu > Co > Mo$, корнеплодах кормовой свеклы — $Zn > B > Mn$. Приведенные ряды не только отражают закономерности влияния отдельных микроэлементов на белковый обмен в растениях, но и могут быть использованы в качестве одного из критериев прогнозирования изменения уровня концентрации сырого протеина в растениях при применении данных видов удобрений, что имеет актуальное значение в практике сельскохозяйственного производства и повышении качества продукции.

Микроудобрения оказывали положительное влияние на аминокислотный состав растений. При среднем суммарном количестве аминокислот в зерне ячменя 102 г, зерне кормовых бобов — 243 г, зеле-

ной массе кукурузы — 17,5 г, сене многолетних трав — 75,9 и корнеплодах кормовой свеклы — 8,8 г в 1 кг растений естественной влажности внесение микроудобрений способствовало увеличению их содержания на 1,2—11,1%. При этом содержание аминокислот в зерне ячменя повышалось на 3,9—4,6%, зерне бобов — на 3,2—11,1%, зеленой массе кукурузы — на 1,9—6,7%, сене трав — на 1,2—4%, в кормовой свекле — на 2,7—7,2%.

Уровень действия микроудобрений на содержание сырого протеина и сумму аминокислот зависел от способов их внесения. Так, при внесении удобрений в почву количество протеина в зерне ячменя увеличилось на 0,8—2,2 абсолютного процента, а сумма аминокислот — на 6—9 г/кг, или 5,9—8,8%, при предпосевном смачивании семян — соответственно на 0,6—1,2% и 2—5 г/кг, или 2—4,9%, при опрыскивании растений — на 0,1—0,4% и 1 г/кг, или около 1%.

Аналогичная закономерность действия микроудобрений проявлялась и на других культурах. В зерне кормовых бобов содержание протеина и аминокислот при внесении удобрений в почву повышалось соответственно на 0,6—3,1% и 13—43 г/кг, или 5,3—17,7%; кукурузе — на 0,1—0,5% и на 0,4—1,4 г/кг, или 2,3—8%; сене трав — на 0,2—0,5% и на 1,3—5,3 г/кг, или 1,7—7%; кормовой свекле — на 0,1—0,3% и на 0,3—0,8 г/кг, или 3,4—9,1%.

Предпосевная обработка семян растворами солей микроэлементов обуславливала следующее повышение данных показателей: в зерне бобов — на 0,2—2,2% или на 5—22 г/кг, или 2,1—9,1%; кукурузе — на 0,1—0,3% и на 0,4—1,2 г/кг, или 2,3—6,9%; сене трав — на 0,1—0,4% и на 0,7—2,5 г/кг, или 1—3,3%; свекле — на 0,1—0,3% и на 0,2—0,7 г/кг, или 2,3—8%. Менее существенное увеличение количества протеина и аминокислот в растениях наблюдалось при применении микроудобрений способом некорневой подкормки растений в период вегетации растворами солей микроэлемента.

Микроудобрения, повышая сумму аминокислот в растениях, увеличивали содержание как незаменимых, так и заменимых кислот. Отношение количества незаменимых аминокислот к заменимым для каждой отдельной культуры изменялось в небольших пределах. Значения этого отношения для зерна ячменя колебались в пределах 0,43—0,45, зерна бобов и зеленой массы кукурузы — 0,47—0,52, сена тимофеевки — 0,63—0,66 и корнеплодов кормовой свеклы — 0,55—0,61, т. е. для каждой сельскохозяйственной культуры уровень отношения незаменимых аминокислот к заменимым специфичен, и при пересчете на единицу белка аминокислотный состав растений остается постоянным. Это объясняется тем, что аминокислотный состав в растениях контролируется генетическими

факторами, а микроудобрения, оказывая положительное действие на азотный обмен в целом, могут привести только к изменению общего содержания белка, а следовательно, и количества незаменимых и заменимых аминокислот.

Влияние микроудобрений на поступление микроэлементов в растения и их вынос урожаем

Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о значительных колебаниях содержания микроэлементов в растениях. По сведениям ряда авторов (Каталымов М. В., 1965; Небольсин А. Н., Небольсина З. П., 1969, Савченко Л. П., 1970; Ковальский В. В. и др., 1971, 1984; Анспок П. И., 1978; Ягодин Б. А., Тищенко И. В., 1978), количество бора в сельскохозяйственных культурах составляет от 2 до 35 мг, меди — от 1,5 до 8,5 мг, марганца — от 18 до 260 мг, молибдена — от 0,2 до 18 мг, кобальта — от 0,01 до 0,6 мг и цинка — от 16 до 65 мг в 1 кг сухого вещества.

Концентрация микроэлементов в растениях зависит от вида сельскохозяйственных культур. По данным некоторых авторов (Ринькис Г. Я., 1965; Анспок П. И., 1972; Мурниеце В. Я., 1973; Пейве Я. В., 1980 и др.), в зерне ячменя от 2 до 4,7 мг бора, от 4 до 18,3 мг меди, от 8 до 140 мг марганца, от 0,2 до 1,4 мг молибдена, от 0,02 до 0,2 мг кобальта и от 9 до 75 мг цинка в 1 кг сухого вещества, а в ячменной соломе количество этих элементов составляет соответственно 3—6; 1—12; 18—153; 0,3—0,7; 0,05—0,2 и 5—55 мг/кг.

В зерне и соломе кормовых бобов содержится соответственно 3—9 и 5—14 мг бора, 5—23 и 4—7 мг меди, 7—26 и 58—160 мг марганца, 0,7—8,4 и 0,4—1,7 мг молибдена, 0,1—0,5 и 0,1—0,3 мг кобальта, 12—56 и 60—180 мг цинка в 1 кг сухого вещества.

В 1 кг сухого вещества кукурузы содержится от 1 до 6 мг бора, от 3 до 12 мг меди, от 21 до 197 мг марганца, от 0,2 до 1,5 мг молибдена, от 0,07 до 0,4 мг кобальта и от 5 до 55 мг цинка. Так же велик разброс в содержании микроэлементов в сене многолетних трав. По литературным данным, в сене тимофеевки луговой микроэлементный состав следующий: 2—6 мг бора, 4—26 мг меди, 11—135 мг марганца, 0,4—0,8 мг молибдена, 0,05—0,3 мг кобальта и 10—40 мг цинка в 1 кг сухого вещества.

Корнеплоды (свекла, брюква, морковь) в 1 кг сухого вещества (в т. ч. и листьев) содержат соответственно от 20 до 50 и от 12 до 30 мг бора, от 6 до 28 и от 5 до 24 мг меди, от 35 до 325 и от 15 до 190 мг марганца, от 0,4 до 2,6 и от 0,1 до 0,2 мг молибдена, от 0,15 до 0,6 и от 0,05 до 0,3 мг кобальта, от 10 до 220 и от 12 до 100 мг цинка.

Приведенные данные фактического содержания микроэлементов в разных сельскохозяйственных культурах свидетельствуют о зна-

чительном их разбросе, что связано не только с физиологическими особенностями растений, но и целым комплексом других факторов, основоопределяющими из которых являются тип почвы, ее агрохимические свойства и запас микроэлементов в пахотном слое.

Как показано рядом работ (Анспок П. И., 1975, 1978; Бамберг К. К., 1978 и др.), на разных типах почв в растения поступает неодинаковое количество микроэлементов, что оказывает существенное влияние на уровень выноса химических элементов урожаем. При этом установлено, что на органогенных (торфяных, торфяно-болотных, аллювиально-болотных и др.) почвах в растения поступает меньше микроэлементов, чем на минеральных.

Многочисленными исследованиями установлено, что уровень содержания микроэлементов в почвах оказывает прямое влияние на их количество в растениях. Поэтому внесение микроудобрений под различные сельскохозяйственные культуры оказывает положительное влияние на концентрацию микроэлементов в растениях.

Обзор литературы показывает, что концентрацию микроэлементов в растениях можно в определенных пределах увеличить за счет внесения микроудобрений. Повышение урожая сельскохозяйственных культур за счет применения минеральных удобрений, в том числе микроудобрений, и повышение концентрации микроэлементов в растениях обуславливает увеличение выноса химических элементов из почвы, обеднение ими последней, что усиливает актуальность проблемы восполнения и повышения почвенного плодородия за счет дополнительного внесения микроудобрений.

Как показано рядом авторов (Виноградова Х. Г., 1962; Майборода Н. М., Токовой И. А., 1974; Школьник М. Я., 1974; Ковда В. А., 1980, 1982), различные сельскохозяйственные культуры с 1 га выносят от 21 до 64 г бора, от 7,3 до 52,5 г меди, от 119 до 334 г марганца, от 6 до 8 г молибдена, от 0,8 до 2,1 г кобальта и от 97 до 260 г цинка. При этом уровень выноса микроэлементов зависит от биологических особенностей культур, величины урожая, типа почвы и других факторов. Так, с урожаем сена злакового разнотравья с 1 га может быть отчуждено до 520 г марганца, зерновых культур — до 4,6 г молибдена, а клеверного сена — до 10 г этого элемента.

Учитывая важность проблемы взаимосвязи микроудобрений с поступлением в растения и их выносом урожаем, автором были исследованы закономерности данных связей на основных типах почв и ведущих сельскохозяйственных культурах, определены количественные параметры рассматриваемых процессов.

Установлено, что содержание микроэлементов в растениях, выращенных на разных типах почв, колеблется в широких пределах. Так, в

зерне ячменя количество меди в среднем составляло 5,9—6,5 мг, кобальта — 0,02—0,04 мг и цинка — 14,6—21,3 мг в 1 кг воздушно-сухого вещества, а в соломе — соответственно 3,8—5,4; 0,03—0,06 и 28,6—30,7 мг/кг.

В зерне кормовых бобов содержалось в среднем 8,7 мг бора, 0,86—2,5 мг молибдена, 0,21—0,38 мг кобальта. В бобовой соломе количество данных элементов составляло соответственно 10,1—11,5; 0,49—0,66; 0,12—0,22 мг/кг. В 1 кг воздушно-сухого вещества кукурузы содержалось 26,2—41,2 мг марганца, 0,13—0,24 мг молибдена и 15,9—27,1 мг цинка, а сена тимopheеchnого — 3,4—5,7 мг меди, 0,32—0,51 мг молибдена и 0,04—0,08 мг кобальта.

Количество бора в корнеплодах кормовой свеклы составляло в среднем 12,4—16,7 мг, марганца — 21,9—32,7 мг, цинка 12,4—26,8 мг, а в свекольной ботве — 24,2—28,6 мг бора, 46,7—63,1 мг марганца и 28,6—37,9 мг цинка в 1 кг воздушно сухого вещества.

Следует отметить, что содержание микроэлементов в растениях одних и тех же культур, выращенных на органогенных почвах, значительно ниже по сравнению с растениями на минеральных почвах, что свидетельствует о разной природе закрепления и подвижности элементов в пахотном слое этих почв и их неодинаковой обеспеченности микроэлементами.

Применение микроудобрений значительно увеличивало поступление микроэлементов в растения и их вынос урожаем. Уровень изменений концентрации микроэлементов в растениях зависел от способа внесения удобрений и был максимальным при внесении последних в почву, менее высоким — при предпосевной обработке семян и минимальным — при опрыскивании растений.

Внесение борных удобрений в почву повышало концентрацию бора в кормовых бобах на 9—20%, а в кормовой свекле — на 23—36%. Предпосевное смачивание семян данных культур раствором борной кислоты и опрыскивание растений способствовали увеличению содержания микроэлемента в растениях соответственно на 1—6 и 1—4%.

Медные удобрения под ячмень и тимopheевку и марганцевые под кукурузу и кормовую свеклу способствовали возрастанию концентрации данных элементов в растениях на 26—44%, а предпосевное смачивание семян растворами сульфатов меди и марганца — на 5—14%, опрыскивание растений — 2—7%.

Аналогичным было действие цинковых удобрений на поступление цинка в растения ячменя, кормовой свеклы и кукурузы. При внесении микроудобрения в почву повышалось содержание этого элемента в данных культурах на 23—70%, предпосевном смачивании семян — на 5—21%, опрыскивании растений — на 1,5—9%.

Наибольшие изменения в содержании микроэлементов в растениях имели место при применении молибденовых и кобальтовых удобрений. Внесение последних в почву под кукурузу, ячмень, кормовые бобы и тимофеевку обуславливало увеличение содержания микроэлементов в растениях в 1,5—4 раза по сравнению с контролем. При этом отмечено более значительное поступление молибдена в растения кормовых бобов и кукурузы, а кобальта — в ячмень и тимофеевку. Подобное высокое действие микроудобрений на поступление микроэлементов в растения объясняется, с одной стороны, биологическими особенностями данных культур, их отзывчивостью на вносимые элементы, с другой — крайне низким запасом молибдена и кобальта в почвах региона.

Применение предпосевного смачивания семян микроэлементами повышало концентрацию молибдена в кукурузе и кобальта в ячмене в 1,5—2,5 раза, а в бобах и тимофеевке — на 13—51%. Опыскивание растений растворами данных микроудобрений способствовало повышению содержания молибдена и кобальта в культурах на 3—50%.

Важным критерием оценки закономерностей динамики микроэлементов в системе почва — растение является уровень их выноса урожаем различных сельскохозяйственных культур. Анализ полученных данных показывает, что данный критерий зависит от вида культуры.

Наиболее высоким выносом бора, марганца и цинка (200—341 г/га) характеризуется кормовая свекла; молибдена (3,5—8,5 г/га) и кобальта (0,9—1,8 г/га) — кормовые бобы. Значительный вынос марганца (215—338 г/га) и цинка (130—223 г/га) характерен для кукурузы. Ячмень и тимофеевка луговая отличаются меньшим выносом микроэлементов.

Однако количество микроэлементов, отчуждаемое из почвы урожаем, зависит не только от вида сельскохозяйственных культур, но и от типа почвы, а также от запаса в ней микроэлементов. В урожае растений, выращенных на органогенных почвах, отличающихся от минеральных не только комплексом агрохимических свойств, но и более низким запасом микроэлементов, содержание последних было значительно ниже. Так, количество бора в урожае кормовых бобов и свеклы было ниже в 1,2—1,4 раза; молибдена в кукурузе и тимофеевке — в 1,8, а кормовых бобах — в 2,4 раза; кобальта в бобах, ячмене и тимофеевке — в 2 раза; марганца в свекле и кукурузе — в 1,4—1,6 раза; меди в ячмене и тимофеевке — в 1,2—1,6 раза; цинка в ячмене, свекле и кукурузе — в 1,5—1,7 раза.

Внесение микроудобрений оказывает значительное влияние на уровень выноса микроэлементов урожаем сельскохозяйственных культур.

тур. Установлено, что с увеличением доз вносимых микроудобрений количество микроэлементов в урожае повышается. Количество микроэлементов в урожае культур зависит не только от доз микроудобрений, но и от способов их внесения.

Наиболее высокое действие на поступление микроэлементов в растения и их вынос урожаем оказывает внесение микроудобрений в почву. Внесение 2 кг/га бора под бобы и свеклу повышало вынос элемента урожаем данных культур соответственно на 13—27 и 34—36%, а 8 кг/га меди под ячмень и тимофеевку — на 39—45%.

Марганцевые удобрения в дозе 12 кг/га способствовали увеличению выноса элемента урожаем кормовой свеклы и зеленой массы кукурузы соответственно на 30—48 и 21—40%, а цинковые в дозе 8 кг/га повышали количество цинка, выносимого свеклой, кукурузой и ячменем соответственно на 41—48, 24—69 и 41—66%.

Более интенсивный вынос микроэлементов имеет место при применении молибденовых и кобальтовых удобрений. Внесение этих удобрений в дозе 0,6 кг/га обуславливало усиление выноса молибдена и кобальта урожаем кормовых бобов, тимофеевки луговой, кукурузы и ячменя в 2—5 раза по сравнению с контролем.

Меньшее, но существенное увеличение выноса микроэлементов урожаем разных сельскохозяйственных культур наблюдалось при внесении микроудобрений способом предпосевного смачивания семян. При этом количество бора в урожае приведенных выше культур увеличивалось в среднем на 9—17%, меди — 11—20%, марганца — 12—23%, цинка — 17—28%, молибдена и кобальта — от 25 до 200%.

Менее значительное повышение выноса микроэлементов имело место при внесении микроудобрений путем опрыскивания растений. Колебания у бора, меди, марганца и цинка составляли от 4 до 19%, а молибдена и кобальта — от 8 до 57%.

Несмотря на сравнительно низкий вынос микроэлементов растениями, на органогенных почвах в абсолютных величинах, по сравнению с минеральными, он более высок по отношению к контролю. Это свидетельствует о значительном использовании микроэлементов растениями на данных почвах от общего их запаса в пахотном слое. С другой стороны, неравнозначны изменения запасов микроэлементов при внесении одинаковых доз микроудобрений на разных типах почв в процентах на единицу объема.

При внесении борных удобрений в дозах 0,5; 1 и 2 кг/га на минеральных почвах со средним запасом бора изменяется общий запас элемента соответственно в 1,4; 1,8 и 2,5 раза, а в органогенной почве — 1,7; 2,4 и 3,9 раза. Применение медных удобрений в дозах 2; 4 и 8 кг/га на почвах со средним запасом меди повышает общий запас элемента в 1,2;

1,4 и 1,7 раза, а в органогенной почве с низким запасом меди — соответственно в 1,3; 1,7 и 2,4 раза.

Небольшие изменения общего запаса марганца в почвах наблюдаются при внесении марганцевых удобрений в дозах 3; 6 и 12 кг/га. В минеральных разновидностях почв со средним запасом марганца его количество практически не меняется, а в органогенных почвах с низким запасом этого элемента — увеличивается в 1,1—1,3 раза.

Внесение в минеральные почвы с низким запасом молибдена молибденовых удобрений в дозах 0,3; 0,6 и 1,2 кг/га повышает общее содержание этого элемента в пахотном слое в 3,1; 5,3 и 9,6 раза, а в органогенных почвах с запасом молибдена 0,04 кг/га — в 8,5; 16 и 31 раз. Кобальтовые удобрения в тех же дозах на почвах с низким запасом кобальта увеличивают его общий запас в 1,1; 1,3 и 1,5 раза, а в органогенных почвах — соответственно в 1,3; 1,6 и 2,2 раза.

Цинковые удобрения в дозах 2; 4 и 8 кг/га повышают общий запас цинка в минеральных почвах со средним запасом элемента соответственно в 1,7; 2,4 и 3,9 раза, а в органогенных почвах — в 2,7; 4,4 и 7,8 раза.

При предпосевной обработке семян и опрыскивании растений растворами солей микроэлементов увеличение общего запаса их в почвах практически не происходит.

Расчет коэффициентов использования микроэлементов в системе почва — микроудобрение — растение показал, что с урожаем ячменя выносятся от 0,2 до 0,5% меди, от 0,01 до 0,05% кобальта и от 2 до 11% цинка от общего их запаса в почвах. По степени использования микроэлементов урожаем данной культуры их можно расположить в следующий ряд: $Zn > Cu > Co$.

С урожаем кормовых бобов вынос микроэлементов следующий: от 1,8 до 8,3% бора, от 1,3 до 14% молибдена и от 0,9 до 3,5% кобальта. Ряд элементов по уменьшению их выноса данной культурой будет иметь следующий вид: $Mo > B > Co$.

С урожаем кукурузы выносятся от 0,2 до 0,6% марганца, от 0,4 до 6,1% молибдена и от 2,6 до 16,5% цинка. Эти элементы по степени снижения их выноса урожаем зеленой массы кукурузы образуют следующий ряд: $Zn > Mo > Mn$.

Вынос микроэлементов урожаем кормовой свеклы составляет от 9,3 до 30,8% бора, от 0,29 до 0,93% марганца и от 3,1 до 20,9% цинка, а урожаем сена тимopheевки луговой — от 0,13 до 0,26% меди, от 0,013 до 0,024% кобальта и от 0,2 до 3,3% молибдена. По степени снижения выноса микроэлементов кормовой свеклой они образуют следующий ряд: $B > Zn > Mn$, а тимopheевки луговой — $Mo > Cu > Co$.

Величина выноса микроэлементов с урожаем в процентах от их общего запаса в почвах зависит от доз и способов применения микроудобрений, и при предпосевном смачивании семян она выше, чем при внесении их в почву или опрыскивании растений. Так, при внесении микроудобрений в почву процент использования микроэлементов разными сельскохозяйственными культурами от общего запаса подвижных форм элементов в пахотном слое составлял: от 1 до 18% бора, от 0,13 до 0,4% меди, от 0,25 до 1% марганца, от 0,2 до 2,5 молибдена, от 0,014 до 0,11% кобальта и от 1,9 до 2% цинка.

При предпосевном смачивании семян общий вынос микроэлементов от их запаса в почве колебался в пределах 3,6—31% бора, 0,2—0,54% меди, 0,22—0,93% марганца, 1,9—14% молибдена, 0,02—0,14% кобальта и 5,6—21% цинка.

Относительно высокий вынос микроэлементов культурами при предпосевном смачивании семян по сравнению с другими способами внесения микроудобрений объясняется, с одной стороны, незначительным дополнительным внесением элементов в почву, вследствие чего их запас в пахотном слое практически не изменяется. Как свидетельствуют литературные данные (Лысенко Е. Г., 1976; Анспок П. И., 1978 и др.) и собственные исследования автора, предпосевная обработка семян микроэлементами оказывает положительное влияние на активность роста корневой системы и надземной части растений, приводящее не только к повышению урожайности и интенсивности поступления химических элементов в растения, а, следовательно, и общий вынос микроэлементов урожаем, за счет более активного использования последних из их запасов в почве.

Разные химические элементы не в одинаковой степени используются растениями. К элементам, относящимся к сильным мигрантам в системе почва — растение, относятся цинк (от 2 до 21%) и бор (от 1 до 31%), средним — молибден (от 0,2 до 14%). Слабо мигрируют в данной системе марганец (от 0,2 до 0,9%), медь (от 0,13 до 0,54%) и кобальт (от 0,01 до 0,14%).

Разные сельскохозяйственные культуры также можно характеризовать по интенсивности выноса микроэлементов. Изученные культуры по данному признаку можно расположить в условный убывающий ряд: кормовая свекла (9,3—31% В; 3—21% Zn; 0,3—0,93% Mn) > кормовые бобы (1,3—14% Mo; 1,8—8,3% В; 0,9—3,5% Co) > кукуруза (2,6—16,5% Zn; 0,5—6% Mo; 0,2—0,6% Mn) > ячмень (2—11% Zn; 0,2—0,5% Cu; 0,01—0,05% Co) > тимофеевка луговая (0,2—3,3% Mo; 0,13—0,26% Cu; 0,013—0,024% Co).

Полученный фактический материал о закономерностях поступления микроэлементов в растения и уровне их выноса разными сельско-

хозяйственными культурами имеет не только большое теоретическое, но и практическое значение. Он может служить основой при разработке рациональной системы применения микроудобрений с учетом типов почв, запасов в них микроэлементов, биологических особенностей выращиваемых культур.

Высокие величины выноса микроэлементов урожаем сельскохозяйственных культур, а также значительная отзывчивость растений на внесение микроудобрений, положительное влияние последних на урожай и его качество позволяют сделать вывод о необходимости их систематического применения в практике сельскохозяйственного производства в регионе.

В завершение, обобщая комплекс многочисленных вопросов, связанных с региональными особенностями распространения микроэлементов в почвах и действия микроудобрений на урожай возделываемых культур в самом западном регионе России, можно сделать следующие выводы и предложения.

1. Почвообразование на территории Калининградской области происходит в специфических природно-климатических условиях, характеризующихся теплым влажным климатом, развитием разнообразных процессов — подзолистого, дернового, болотного, и также буроземного и процесса лессиважа. Здесь высокий годовой прирост растительной массы, обеспечивающий большое поступление органического вещества в почву, сочетается с энергичной его минерализацией, что обуславливает интенсивность круговорота веществ в системе почва — растение. Эти особенности наряду с влиянием древней земледельческой культуры сглаживают общие закономерности, присущие каждому процессу почвообразования, и вносят региональные отличия.

2. Микроэлементный состав почвообразующих пород определяется особенностями их минералогического, химического и гранулометрического состава. Среднее содержание микроэлементов в почвообразующих породах колеблется в следующих пределах: бора от 2 до 16, меди — 3 до 25, марганца — от 45 до 380, молибдена — от 0,5 до 1,7, кобальта — от 1 до 14 и цинка — от 9,7 до 47 мг в 1 кг породы. Водно-ледниковые безвалунные глины и пылеватые суглинки отличаются более высоким содержанием микроэлементов, по сравнению с моренными валунными суглинками и супесями. Минимальное количество микроэлементов отмечено в озерно-ледниковых безвалунных и древнеаллювиальных сортированных песках. Сравнительно высоким содержанием бора, меди и марганца и низким — кобальта и цинка характеризуется погребенный торф.

В целом содержание микроэлементов в почвообразующих породах области ниже по сравнению с почвообразующими породами Евро-

пейской части Российской Федерации и соизмеримо с количеством последних в породах Белоруссии и Прибалтики, что свидетельствует о единстве их происхождения.

3. Микроэлементный состав почвенно-грунтовых вод формируется под влиянием особенностей химического состава почв и пород. Содержание микроэлементов в почвенно-грунтовых водах колеблется в следующих пределах: бора — 0,88—3,8 у/л; меди — 4,3—19,1; марганца — 47—453; молибдена — 0,2—0,8; кобальта — 0,4—1,7 и цинка 40—147 у/л. Колебания величин концентрации микроэлементов в почвенно-грунтовых водах является следствием пестроты почвенного покрова и разнообразия почвообразующих пород.

Отмечается повышенное содержание бора, меди, молибдена и цинка в водах восточной зоны региона, отличающихся более высокой минерализацией и количеством органического вещества, а также марганца и кобальта в водах северной зоны, где значительно распространены аллювиальные и торфяные почвы.

4. Специфика условий почвообразования накладывает свой отпечаток на количественные параметры содержания микроэлементов в почвах. В целом валовое содержание бора колеблется в пределах 8,5—13,6; меди — 12,7—19; марганца — 211—321; молибдена — 0,65—1,5; кобальта — 5,7—12,2; цинка — 45—83 мг/кг, подвижных форм соответственно: бора — 0,37—0,97; меди — 2,7—9,1; марганца — 60,7—78,1; молибдена — 0,05—0,08; кобальта — 0,79—1,3; цинка — 0,57—2,1 мг/кг.

Аллювиальные и осушаемые торфяные почвы характеризуются более высоким как валовым содержанием, так и количеством подвижных форм большинства микроэлементов, по сравнению с дерново-подзолистыми и дерновыми почвами. Валовое количество меди и цинка в почвах области, а также подвижных форм бора, меди, кобальта и цинка выше, а марганца и подвижного молибдена — ниже, чем в почвах Белоруссии и Прибалтики и соизмеримо с количеством последних в таежно-лесных почвах Европейской части Российской Федерации.

5. Общие закономерности распределения микроэлементов, установленные различными авторами для других регионов страны, находят свое отражение и в почвах области. Ведущими факторами, определяющими содержание микроэлементов, являются гранулометрический состав минеральных почв ($r=0,31-0,82$) и зольность органогенных ($r=0,33-0,82$), а также содержание гумуса ($r=0,33-0,92$). Особенности почвенных процессов, заключающиеся в активной миграции химических элементов, предопределили слабой степени устойчивости связь содержания микроэлементов с показателями, характеризую-

щими реакцию почвы: рН — ($r=0,22-0,7$); S — ($r=0,17-0,78$); V — ($r=0,22-0,65$).

6. Разнообразие природных факторов и неодинаковость их участия в почвообразовании явились одной из главных причин сложной дифференциации распределения веществ по профилю с накоплением микроэлементов в зонах геохимических барьеров. В дерново-подзолистых и дерновых почвах в силу превалирования биогенной аккумуляции максимальное количество большинства микроэлементов обнаруживается в гумусовом и иллювиальном горизонтах. Микроэлементный состав профилей аллювиальных и осушаемых торфяных почв формируется под воздействием биогенной, гидрогенной и механической аккумуляции, что и определяет характерные особенности в распределении микроэлементов по профилю этих почв. Количественную характеристику миграции микроэлементов в профиле дают величины коэффициентов их накопления, которые для валовых форм колеблются в пределах от 1,3 до 4,1; подвижных — от 2,2 до 6,1, что свидетельствует о преобладании биогенной аккумуляции микроэлементов в гумусовом горизонте почв.

7. Региональные особенности почвообразования, связанные со спецификой геоморфологических, климатических и почвенных условий, а также гидролитического режима и вида использования земель в условиях интенсивной мелиорации, находят свое отражение в количественном и качественном составе дренажных вод. Ежегодно с гектарной площади отчуждается 2,5—6,5 г бора, 17,3—28,8 г меди, 234—416 г марганца, 0,5—1,5 г молибдена, 1,3—1,9 г кобальта и 112—250 г цинка. При этом на пашне вынос микроэлементов дренажным стоком в два раза выше, чем на лугопастбищных угодьях, что связано с более интенсивным использованием пахотных земель, активной минерализацией в них органического вещества и значительной миграцией химических элементов в условиях преимущественно промывного водного режима. Уровень выноса микроэлементов дренажным стоком носит сезонный характер — его максимум приходится на зимний и ранневесенний периоды, а минимум — на летний и раннеосенний.

8. В условиях растущего уровня химизации земледелия применение повышенных доз минеральных и органических удобрений на фоне систематического известкования во многом преобразует ход физико-химических превращений, обуславливающих изменение подвижности макро- и микроэлементов в почвах и интенсивности поступления их в растения. При известковании кислых почв в первые годы подвижность микроэлементов и поступление их в растения несколько снижаются, а в последствии — возрастают, что приводит к уве-

личению общего выноса микроэлементов урожаем. По сравнению с доломитовой мукой сланцевая зола оказывает лучшее воздействие на микроэлементный состав почв, т. к. она содержит в своем составе значительное количество микроэлементов.

При внесении азотных удобрений наблюдается некоторое возрастание подвижности большинства микроэлементов, а фосфорных и органических — снижается, особенно в год их внесения. Калийные удобрения практически не оказывают влияния на подвижность микроэлементов в почвах. На фоне высокого уровня применения удобрений общий вынос микроэлементов с урожаем возрастает в 1,5—2 раза, чем усиливается их дефицит в почвах.

9. Рассчитанный баланс микроэлементов в почвах области свидетельствует о том, что даже при существующем уровне урожайности имеет место ярко выраженный дефицит молибдена, кобальта и цинка. При этом общий расход бора, меди и марганца близок к их поступлению. С ростом урожайности сельскохозяйственных культур значительно увеличивается расход микроэлементов, и практически все они становятся дефицитными, что обуславливает необходимость систематического применения микроудобрений. Этот вывод и данные по расчету баланса подтверждаются результатами анализа изменения содержания микроэлементов в почвах за последние 15 лет. В результате проведения полного цикла известкования кислых почв сланцевой золой за этот период площади почв с недостаточной обеспеченностью бором снизились на 18,2%, медью — 11,3%, марганцем — 2,8%, а молибденом, кобальтом и цинком — возросли соответственно на 0,8; 0,9 и 8,1%.

10. Фактический материал содержания и распределения валовых и подвижных форм микроэлементов в почвах представлен в виде картосхем. Отмечена тесная взаимосвязь специфики распределения микроэлементов с географическими закономерностями распространения почв. Выделены геохимические ассоциации и педогеохимические провинции накопления и рассеяния микроэлементов на территории области, которые представляют собой комплексный материал, характеризующий как геоморфологические, так и почвенные и геохимические особенности территории.

11. Выполненные методические работы по полевому обследованию почв с целью картографирования содержания микроэлементов и совершенствованию их аналитического определения методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии позволяют унифицировать систему исследования микроэлементного состава почв и растений.

Целесообразно отбор почвенных образцов проводить в период с апреля по октябрь по диагонали элементарного участка площадью

до 10 га, при этом смешанный образец составлять не менее чем из 40 индивидуальных проб. При атомно-абсорбционном определении меди и марганца возможна замена часового встряхивания суспензии — 15-минутным, а фильтрование — отстаиванием.

12. С использованием ЭВМ составлены многофакторные модели регрессии. Пошаговый анализ этих моделей позволил выделить факторы, существенно влияющие на содержание микроэлементов в почвах, и построить на этой основе логический ряд факторов с учетом их значимости. Полученные уравнения множественной регрессии отражают взаимосвязь комплекса физических и агрохимических свойств почв и содержания микроэлементов и могут быть использованы в качестве теоретической основы для прогнозирования изменения микроэлементного состава почв под влиянием различных агрохимических мероприятий. Региональные особенности изучаемой территории с ее древней земледельческой культурой и превалированием антропогенного воздействия на развитие почв выдвигают актуальность введения здесь мониторинга характера изменения химического состава почв с использованием полученных математических моделей.

13. Предложен качественно новый комплексный метод оценки обеспеченности почв запасами микроэлементов (в кг/га) с использованием характеристики их физических и агрохимических свойств. Запас бора в почвах области в среднем колеблется от 0,7 до 1,4 кг/га; меди — от 5,9 до 13,9; марганца — от 45 до 197; молибдена — от 0,04 до 0,19; кобальта — от 1 до 2,6 и цинка — от 1,2 до 3,4 кг/га. Наибольший запас микроэлементов имеют дерновые и аллювиальные почвы, более низкий — осушаемые торфяные. Дерново-подзолистые почвы занимают промежуточное положение.

В полевых экспериментах установлены градации нуждаемости почв в дополнительном внесении микроэлементов в зависимости от их фактического запаса в гумусовом горизонте. Оценка обеспеченности почв по предложенным грациям хорошо согласуется с отзывчивостью растений на внесение микроудобрений.

В целом почвы области по запасам микроэлементов характеризуются от низкой до высокой степени обеспеченности бором, медью и марганцем; низкой или средней — кобальтом и цинком; низкой — молибденом.

14. Важнейшей задачей агрохимических исследований является изучение реакции растений на дополнительное внесение микроудобрений в конкретных почвенных условиях. В полевых опытах установлено положительное действие медных, кобальтовых и цинковых удобрений под ячмень; марганцевых, молибденовых и цинковых — под кукурузу; молибденовых, борных и кобальтовых — под кормовые бобы;

медных, кобальтовых и молибденовых — под тимopheевку луговую; марганцевых, борных и цинковых — под кормовую свеклу. При этом эффективность микроудобрений зависела от обеспеченности почв микроэлементами.

15. Из трех известных способов применения микроудобрений наибольшие прибавки урожая изучаемых культур получены от внесения их в почву и предпосевного смачивания семян растворами солей микроэлементов. При этих способах внесения удобрений под ячмень (на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$) урожай зерна повышался соответственно на 5,3—16,6 и 4—12,7%, кормовых бобов ($P_{60}K_{60}$) — на 4,2—13,9 и 3,5—10%, зеленой массы кукурузы и корнеплодов кормовой свеклы ($N_{120}P_{90}K_{120}$) — на 6—14 и 5—11%, сена тимopheевки луговой ($N_{90}P_{60}K_{90}$) — на 8,8—16,9 и 4,3—12,1%. Менее значительная прибавка урожая сельскохозяйственных культур (4—8%) получена при некорневой подкормке растений микроэлементами.

16. В полевых экспериментах установлено высокое положительное влияние микроэлементов на качество урожая. Под их воздействием в растениях увеличивалось содержание сырого протеина на 0,5—2,5 абсолютных процента, аминокислот и микроэлементов. При этом общая сумма аминокислот в зерне ячменя повышалась на 3,9—4,6%, кормовых бобах — на 3,2—11,1%, в кукурузной массе — на 1,9—6,7%, сене тимopheевки — на 1,2—4%, корнеплодах кормовой свеклы — на 2,7—7,2%. Микроудобрения увеличивали содержание как заменимых, так и незаменимых аминокислот в растениях, а отношение количества незаменимых кислот к заменимым для каждой отдельной культуры изменялось в небольших пределах, т. е. аминокислотный состав растений оставался постоянным.

При внесении микроудобрений значительно возрастал уровень поступления микроэлементов в растения и их вынос урожаем. Общий вынос бора изучаемыми культурами увеличивался на 13—36%, меди — на 39—45%, марганца — на 30—38%, цинка — на 24—69%, а кобальта и молибдена — в 2—5 раз.

17. Наиболее экономически выгодным способом применения микроудобрений является предпосевная обработка семян растворами солей микроэлементов. При этом способе внесения микроудобрений под ячмень доход на 1 руб. затрат составил от 1 до 7 руб., под кукурузу — от 1,1 до 5 руб., под кормовые бобы — от 1,9 до 7,7 руб., под кормовую свеклу — от 5,7 до 39 руб., под тимopheевку — от 1 до 4,1 руб., а при внесении в почву — соответственно от 0,7 до 1,5; от 0,5 до 1,2; от 0,8 до 4,8; от 3,4 до 10,5 и от 0,7 до 1,7 руб. Некорневая подкормка растений микроэлементами также дает значительный экономический эффект, но более низкий, по сравнению с предпосевным смачиванием семян.

18. В условиях западной части Нечерноземной зоны РФ с учетом региональных особенностей микроэлементного состава почв в целях повышения урожайности и улучшения качества сельскохозяйственных культур наиболее целесообразно применять следующие сочетания микроэлементов: под ячмень — медь, кобальт и цинк; кукурузу — марганец, молибден и цинк; кормовые бобы — молибден, бор и кобальт; многолетние злаковые травы — медь, кобальт и молибден; кормовые корнеплоды — марганец, бор и цинк. Применение повышенных доз минеральных удобрений на фоне систематического известкования усиливает потребность в микроудобрениях.

Учитывая экономическую выгодность метода предпосевного смачивания семян растворами солей микроэлементов, а также недостаточность производства и поступления микроудобрений, этот способ применения микроудобрений наиболее приемлем в земледелии области. Предпосевную обработку семян рекомендуется проводить растворами солей микроэлементов следующих концентраций, в % (в расчете на элемент): бора — 0,02; меди — 0,01; марганца — 0,06; молибдена — 0,2; кобальта — 0,3 и цинка — 0,05. Расход раствора на обработку 1 ц семян должен составлять (л): зерновые хлеба, однолетние бобовые культуры — 2; овощи и корнеплоды — 7; многолетние травы — 12. Смачивание семян можно совместить с предпосевным протравливанием, что сводит к минимуму затраты на применение микроудобрений и позволяет полностью механизировать процесс, а небольшой расход микроудобрений дает возможность применить их на значительной площади.

В дальнейшем, по мере расширения производства микроудобрений и увеличения выпуска минеральных удобрений с добавками микроэлементов, значительная доля потребности растений в микроэлементах будет удовлетворяться посредством внесения их в почву. При этом борные удобрения следует вносить в дозах от 0,5 до 2 кг/га, медные и цинковые — от 2 до 8, марганцевые — от 3 до 12, кобальтовые и молибденовые — от 0,3 до 1,2 кг/га (в расчете на элемент) в зависимости от обеспеченности почв запасами микроэлементов.

Применение микроудобрений методом некорневой подкормки следует проводить при появлении признаков недостатка микроэлементов у растений, концентрация растворов для их опрыскивания должна быть в два раза ниже, чем при предпосевном смачивании семян.

19. При решении проблемы рационального применения микроудобрений целесообразно проводить фактическую оценку обеспеченности почв микроэлементами по предложенным грациям запасов (в кг/га). С этой целью агрохимической службе при проведе-

нии обследования почв на содержание микроэлементов необходимо дополнительно учитывать объемную массу и мощность гумусового горизонта.

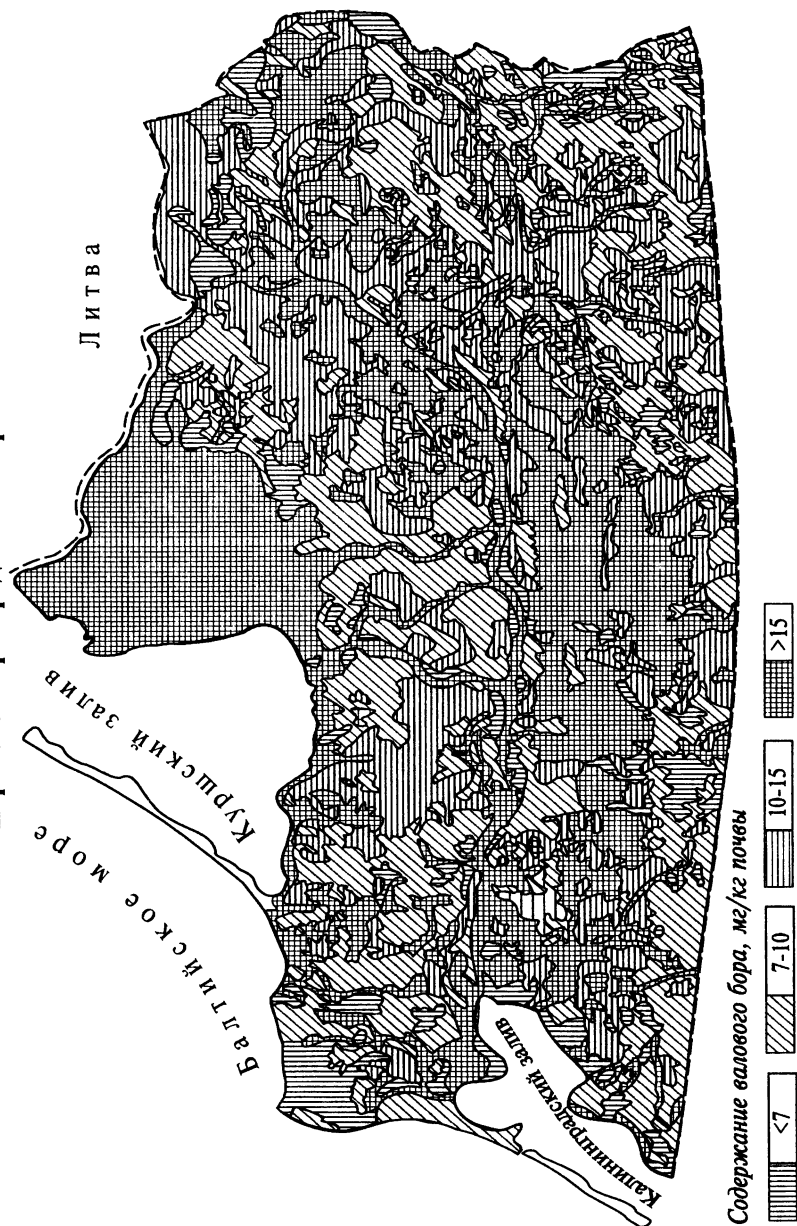
20. Исследования содержания микроэлементов в почвах целесообразно совмещать с массовым обследованием почв, проводимым агрохимической службой.

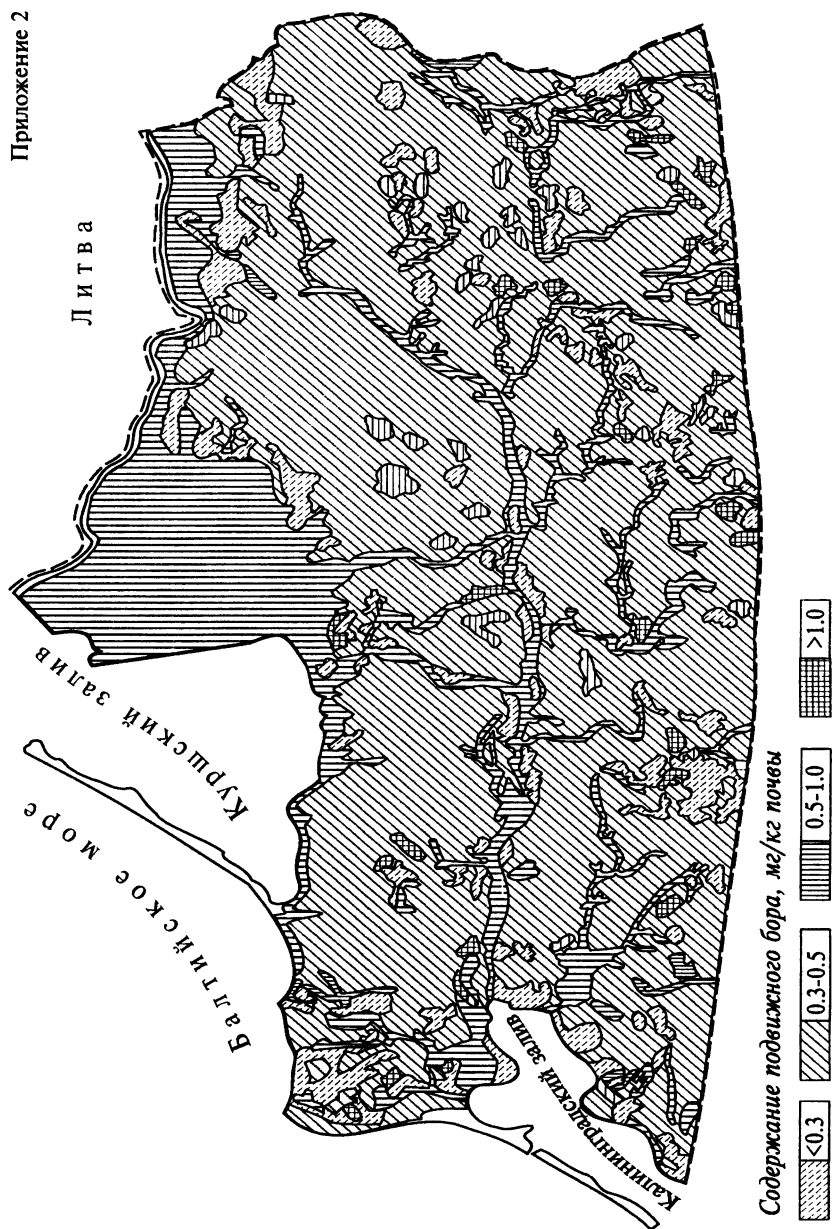
21. Предложенные многофакторные математические модели взаимосвязи микроэлементного состава со свойствами почв могут использоваться в расчетном рекогносцировочном методе прогнозирования изменения содержания микроэлементов в почвах и в системе почва — растение.

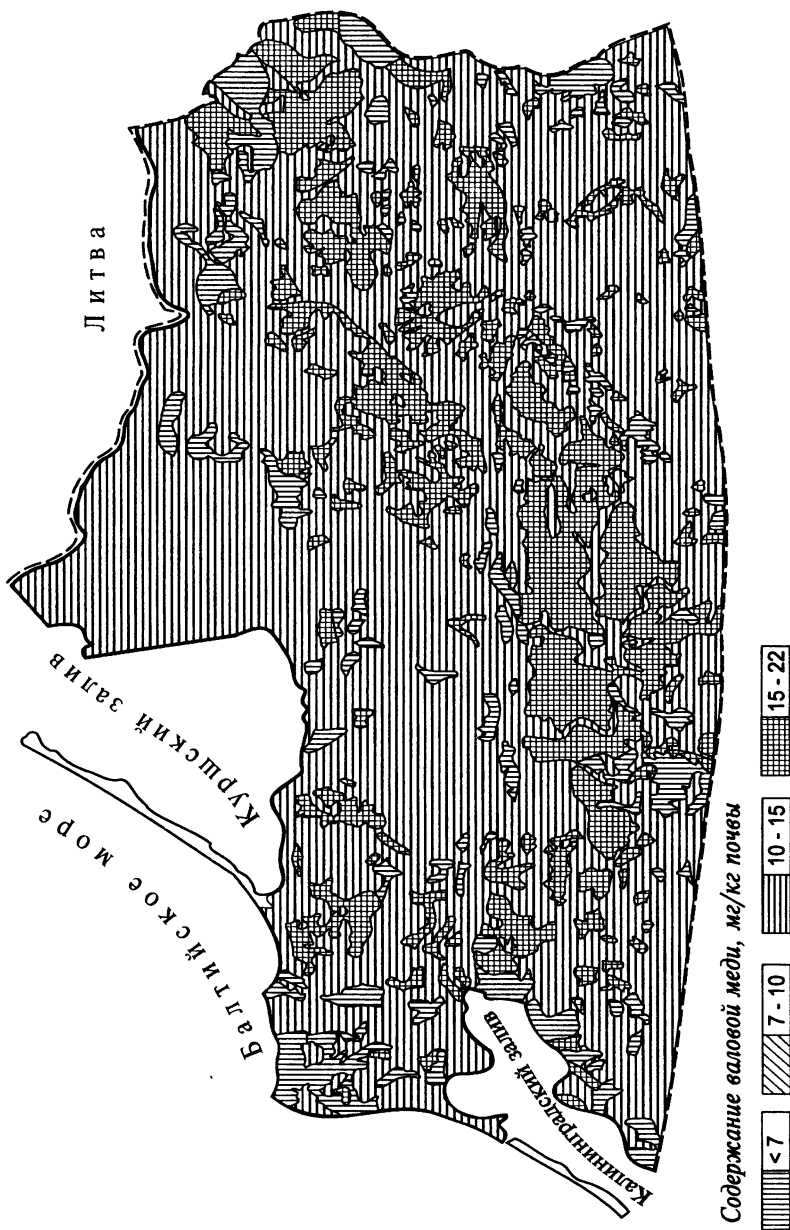
ПРИЛОЖЕНИЯ

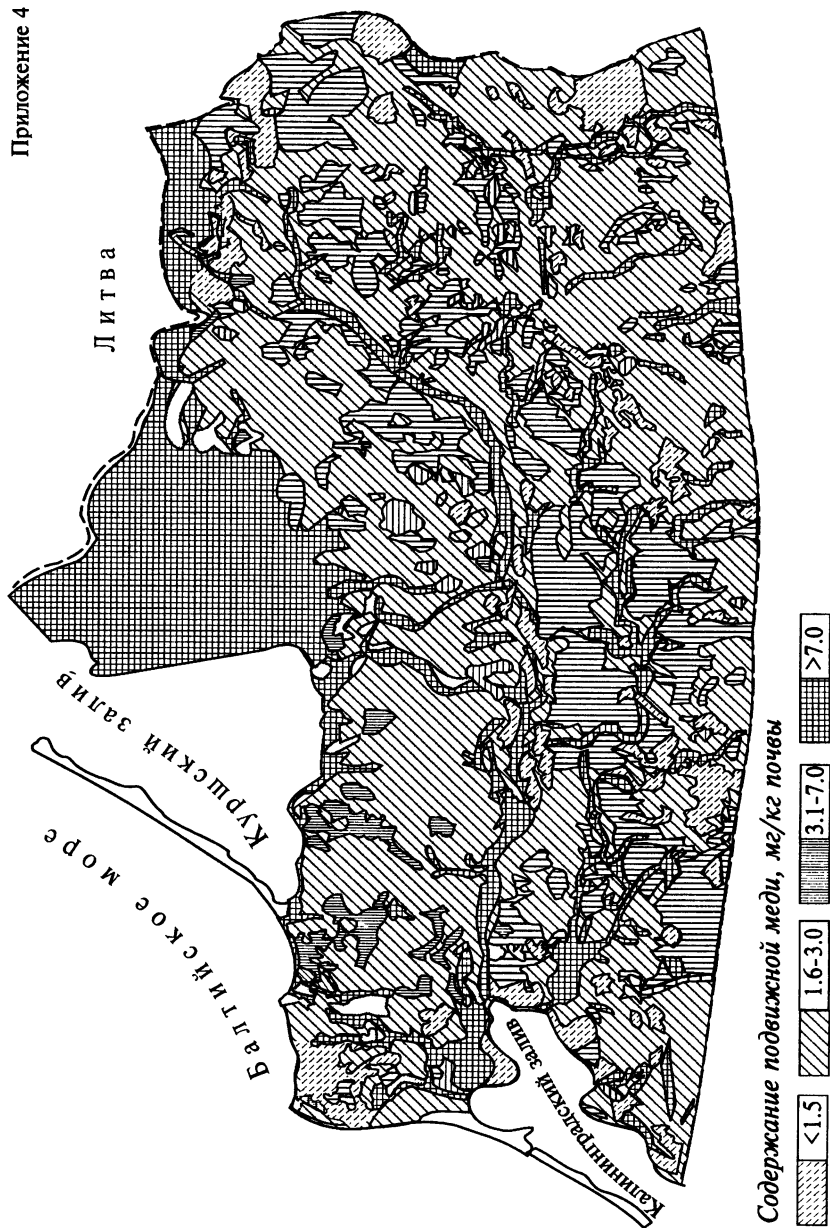
Картосхемы распределения бора

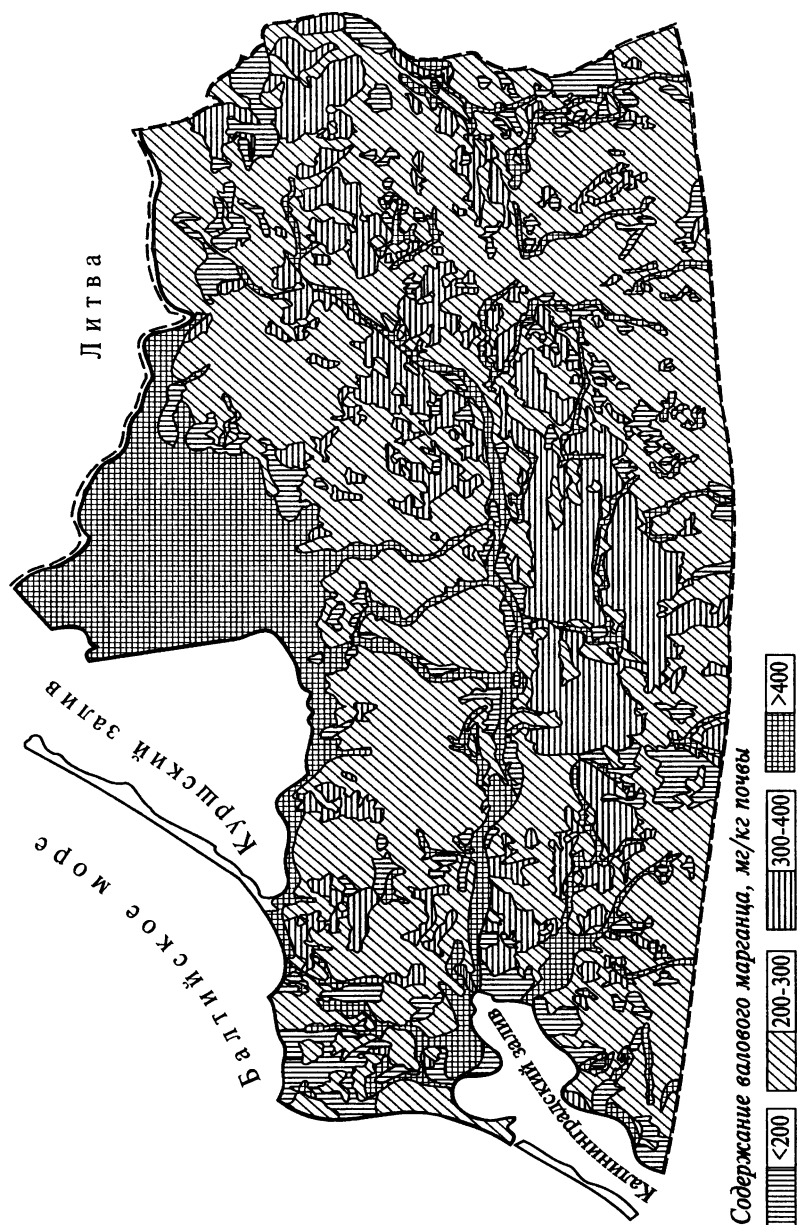
Приложение 1

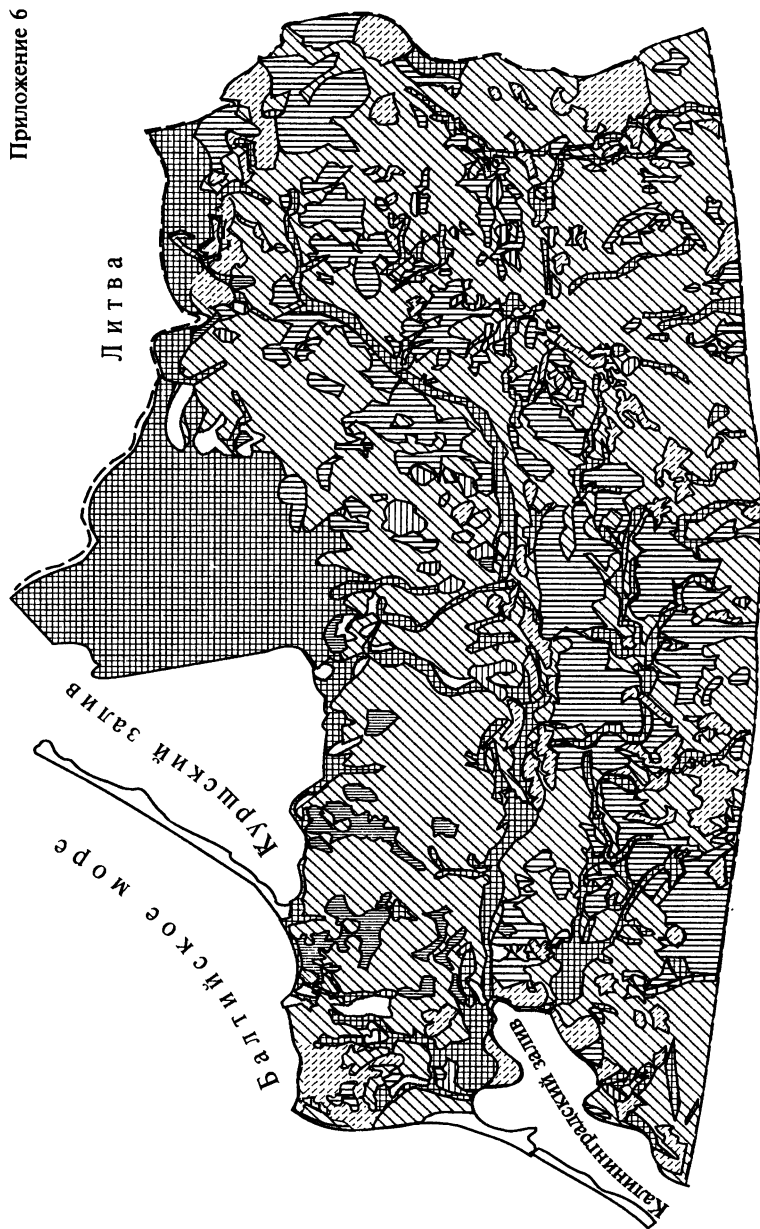


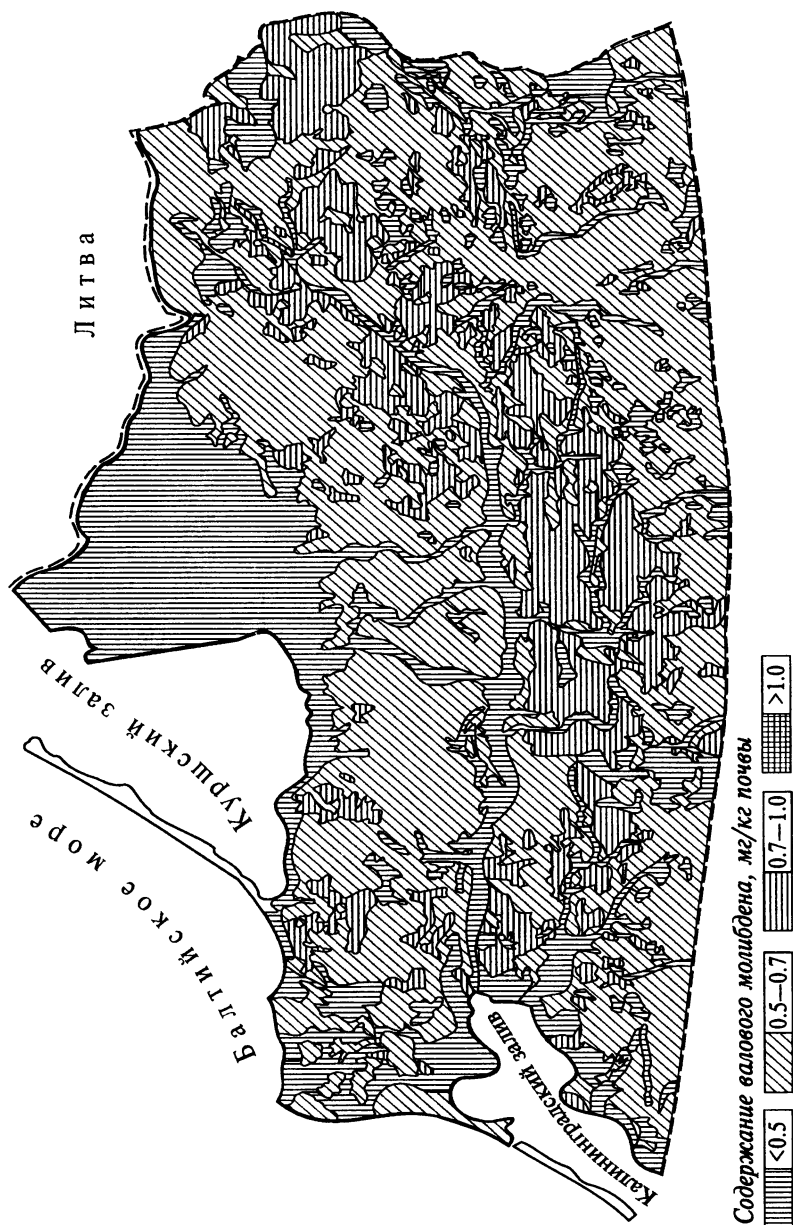


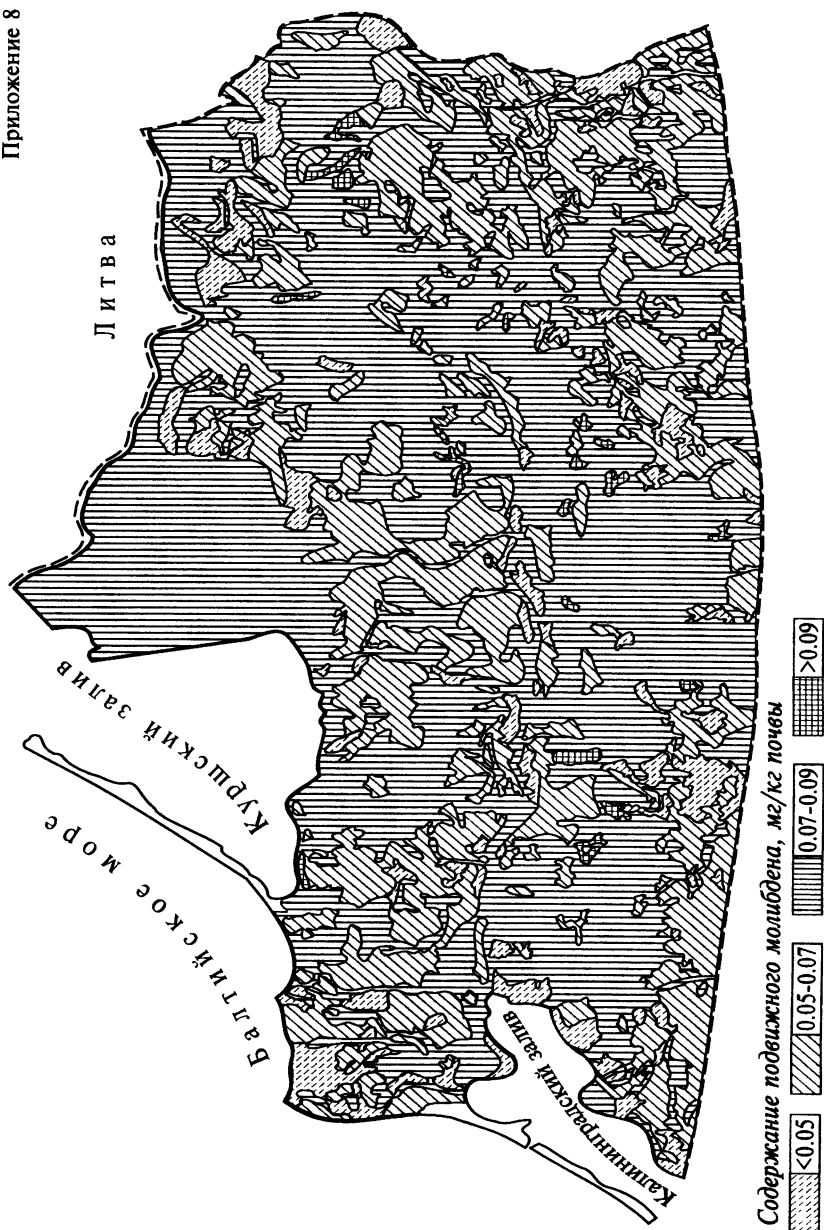






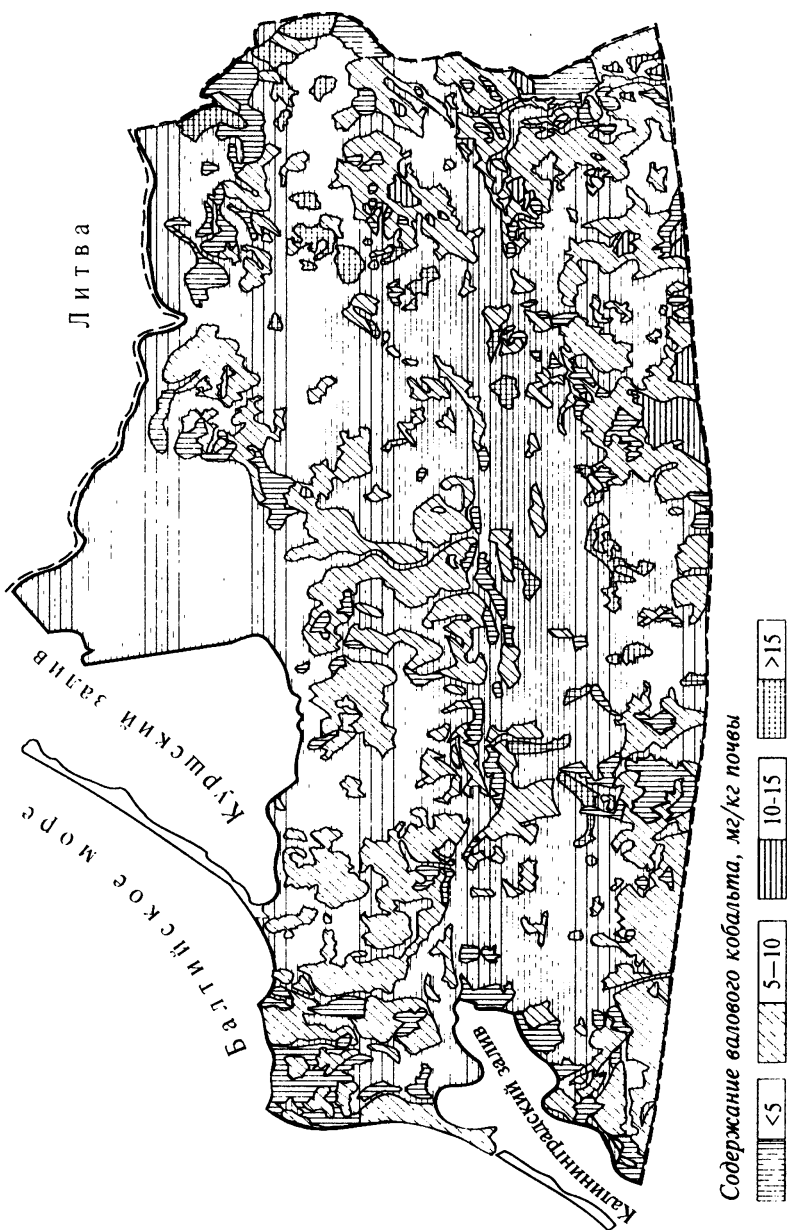


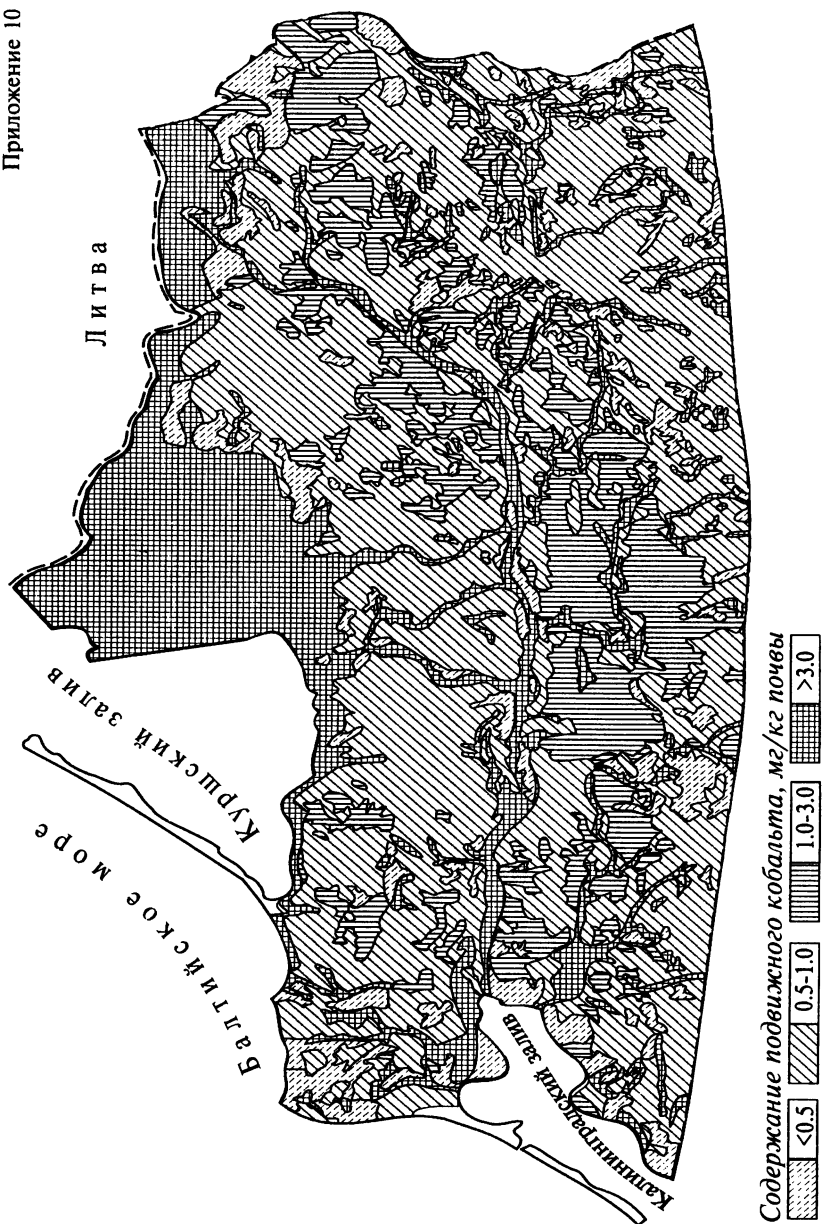


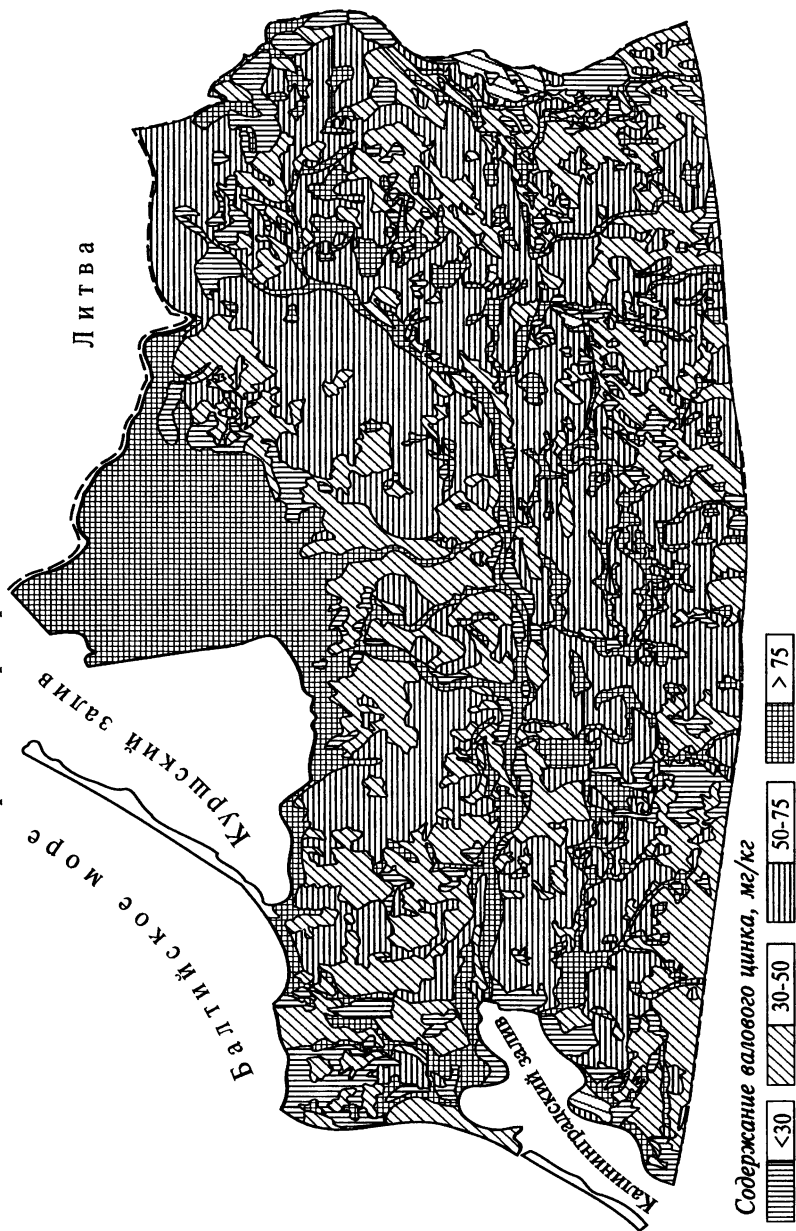


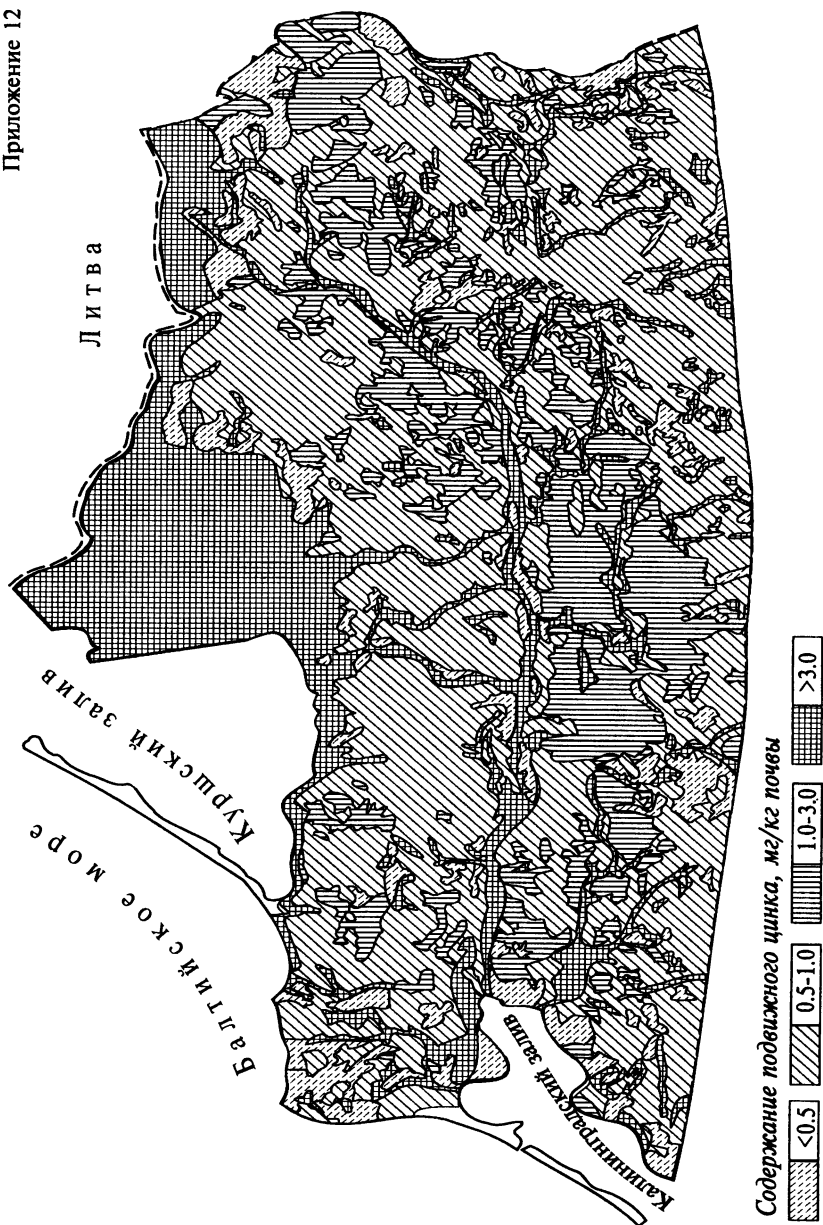
Картосхемы распределения кобальта

Приложение 9









Литература

- Айзупиет Л. П. и др.* Использование микроэлементов в растениеводстве Латвийской ССР // *Агрохимия*. 1969. № 7. С. 130—149.
- Алисеевич М. К., Лавринович М. В., Барташевич С. В.* Подвижные формы микроэлементов в почвах некоторых сопряженных ландшафтов Витебской области БССР. В сб. // *Геол. и геогр.* Минск, 1984. — № 6. С. 122—129.
- Альтгаузен Л.* Датское общество поощрения разработки болот. // *Земледельческая газета*. 1896. № 48.
- Аношко В. С.* Особенности миграции цинка в почвенном профиле автономных ландшафтов Белоруссии. В сб. // *Топологические аспекты изучения поведения вещества в геосистемах*. Иркутск, 1973. С. 77—80.
- Антонова Г. Г. и др.* Содержание микроэлементов в некоторых почвах Великолукского района Псковской области. // *Зап. Ленингр. с.-х. ин-та*. Л., 1972. № 2. 200. С. 11—17.
- Анспок П. И.* Почвенные условия и эффективность применения микроэлементов в Латвийской ССР. Автореф. докт. дисс. Каунас, 1972. 28 с.
- Анспок П. И.* Микроудобрения. Справочная книга. Л.: Колос, 1978. 272 с.
- Артюшин А. М., Тарасова З. К.* О перспективах применения микроудобрений в сельском хозяйстве страны. В сб. // *Биологическая роль и практическое применение микроэлементов*. Рига, 1976. С. 148—154.
- Багинскас Б. П.* Микроэлементы в почвах Литовской ССР и их влияние на растения. Автореф. докт. дисс. Каунас, 1971. 122 с.
- Бамберг К. К.* Влияние микроэлементов на урожай и качество продукции // *Изв. АН Латв. ССР*. 1969. № 8. С. 67—78.
- Баранов Н. Н. и др.* Экономика использования удобрений. М.: Колос, 1974. 319 с.
- Барановская А. В.* К характеристике количества и состава органического вещества в почвах Калининградской области // *Почвоведение*. 1952. № 5. С. 34—42.

Барбалис П. Д. Влияние агрохимических свойств почвы и минеральных удобрений на урожай озимой ржи, ячменя и картофеля в Латвийской ССР. Автореф. докт. дисс. Елгава, 1970. 48 с.

Беер К. Влияние известкования на динамику марганца в различных почвах ГДР и усвоение его растениями // *Агрохимия*. 1968. № 7. С. 81-93.

Белицына Г. Д., Дронова Н. Я. Влияние техногенной нагрузки на свойства почв дерново-подзолистого типа // Тез. докл. 6-го Всесоюз. съезда о-ва почвоведов. Тбилиси, 1981. Кн. 2. 124 с.

Белокобыльский И. М. Динамика питательных веществ в черноземе обыкновенном. // *Почвоведение*. 1979. № 10. С. 59—64.

Бергман В. Об определении предельных концентраций допустимых растениями микроэлементов в почвах. Требования к методам экстракции. В сб. // *Микроэлементы в СССР*. Рига, 1982. № 23. С. 88—94.

Бериня Д. Ж. Влияние pH среды на устойчивость комплексных соединений меди с гумусовыми кислотами. В сб. // 3-й Всесоюзный биохимический съезд. Реф. научн. сообщ. Рига, 1974. Т. 2. 119 с.

Берш В. Руководство по культуре болот / Пер. с нем. Розена Г. В., Соколовского А. В. СНГ. 1912. 87 с.

Большаков В. А., Зырин Н. Г. Оценка химических методов извлечения микроэлементов из почв // *Вестник МГУ. Биол., почвовед.* 1973. № 3. С. 88-94.

Бонева К., Кабакчиев. Содержание цинка, меди, марганца в минеральной части некоторых гранулометрических фракций смонитов // *Почвоведение и агрохимия*. 1973. № 1. С. 3—11.

Бутузова О. В., Сергеева Ж. В. Влияние почвообразующей породы на содержание микроэлементов (меди, цинка, марганца, кобальта, молибдена) в лесных почвах восточной части Ленинградской области. В сб. // *Материалы 15-й Научной конференции Гродненского с.-х. ин-та*. Горки, 1971. С. 60—64.

Важенин И. Г. Методические указания по агрохимическому обследованию и картографированию почв на содержание микроэлементов. М., 1976. 78 с.

Важенин И. Г., Белякова В. И. Агрохимическая характеристика почв. В кн. «Агрохимические работы в Калининградской области. М.: Изд-во АН СССР. 1959. С. 40—70.

Вардья Н. П. и др. Поглощение некоторых микроэлементов дерново-подзолистого супесчаного и суглинистого почвами. // *Тр. зап. Ленингр. с.-х. ин-та*. Л., 1976. С. 3—14.

Васяев Г. В. Действие кобальтовых, медных и молибденовых удобрений на содержание микроэлементов в почвах и урожай растений. // *Тр. зап. Ленингр. с.-х. ин-та*. Л., 1974. С. 3—10.

Вашкевич Л. Ф., Свиридовский Л. Я. Некоторые закономерности распре-

деления форм марганца, меди, бора и кобальта в почвах БССР. В сб. // «Топологические аспекты изучения поведения вещества в геосистемах. Иркутск, 1973. С. 81—83.

Веригина К. В., Кораблева Л. И. Микроэлементы в пойменных почвах Московской области. В сб. // Биол. роль микроэлементов и их применение в сельском хоз-ве и мед. М.: Наука, 1974. С. 191—206.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы земли и ее окружение. М., 1965. 376 с.

Ветчигина Е. М. Содержание подвижных форм марганца, молибдена и бора в пахотных почвах Ивановской области // Тр. Горьковского с.-х. ин-та. 1973. № 55. С. 145—150.

Вильгусевич И. П., Булгаков Н. П. Валовое содержание микроэлементов в почвах БССР // Почвоведение. 1960. № 3. С. 104—111.

Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957. 237 с.

Виноградова Х. Г. Микроэлементы в жизни растений и животных М.: Изд-во АН СССР. 1952. 525 с.

Власюк П. А. Микроэлементы в обмене веществ, продуктивность растений и животных. В кн. // Удобрения и препараты с микроэлементами. Киев: Наукова думка, 1975. 208 с.

Возбуцкая А. Е. Химия почвы. М., 1968. 297 с.

Войдин Л. М., Маданов В. П. Содержание молибдена в почвах Калининградской области и потребность их в молибденовом удобрении // Тр. Горьковского с.-х. ин-та. 1972. № 49. С. 16—21.

Вольф В. Г. Статистическая обработка опытных данных. М.: Колос., 1966. 253 с.

Гамзиков Г. П. Почвенная диагностика питания растений и применения удобрений на черноземах. В сб. // Особенности формирования и использования почв Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1982. С. 191—204.

Головина Л. П. и др. Биологический круговорот микроэлементов под сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах в Полесье УССР // Химия в сельском хозяйстве. 1984. № 2. С. 20—25.

Горлях Э., Олькусник С. Динамика подвижных форм микроэлементов в почве в условиях интенсивного применения минеральных удобрений // Тр. ВНИИ удобр. и агропочвовед. М., 1982. № 62. С. 49—54.

Городний В. М., Гуцуляк В. Д. Сток дренажных вод, их химический состав и содержание питательных веществ в дерново-среднесуглинистых оглеенных почвах Прикарпатья. В сб. // Круговорот и баланс азота в системе почва — удобрение — растение — вода. М., 1979. С. 302—303.

Дворникова Л. Л. Микроэлементы в дерново-подзолистых почвах центральной части южнотаежной подзоны // Вестник Ленингр. ун-та. 1974. № 12. С. 114—122.

- Джурко М. С.* Влияние окультуренности дерново-подзолистой почвы на содержание микроэлементов // Тр. Костромск., с.-х. ин-та. Караваево, 1970. Вып. 28. С. 54–60.
- Дмитриев Е. А.* Математическая статистика в почвоведении. М., 1972. 292 с.
- Дмитриев Е. А.* Методологические аспекты использования математической статистики в почвоведении. В сб. // История и методол. естеств. наук. М., 1980. № 24. С. 61–71.
- Дмитриева О. М.* Применение микроудобрений на осваиваемых торфяно-болотных почвах Северо-Западной зоны // Химия в сельском хозяйстве. 1971. № 11. С. 23–24.
- Добровольский Г. В., Левин Ф. И.* Проблемы повышения плодородия почв Нечерноземной зоны // С.-х. биология. 1981. Вып. 16. № 2. С. 177–184.
- Доспехов Б. А.* Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. М.: Колос. 1972. 205 с.
- Дубиковский Г. П.* Закономерности распределения микроэлементов в почвах Белорусской ССР и их влияние на растения. Автореф. докт. дисс. Каунас, 1975. 49 с.
- Егорова Т. К.* Поступление кобальта в растения и влияние его на урожай в связи с известкованием кислых почв // Тр. Всесоюзн. НИИ удобрений и агропочвоведения. 1968. Вып. 45. С. 130–141.
- Жизневская Г. Я., Бороденко Л. И.* Влияние меди на продуктивность бобовых растений. В сб. // Биол. роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. М.: Наука, 1974. С. 231–244.
- Журавлева Е. Г.* Подготовка почвенных и растительных образцов для анализа на содержание микроэлементов. В сб. // Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах. М.: Колос, 1974. С. 98–103.
- Журовская В. Я.* Применение молибдена и других микроэлементов под лугопастбищные культуры в Латвийской ССР. В сб. // Биологическая роль молибдена. М.: Наука, 1972. С. 162–169.
- Завалишин А. А., Надеждин Б. В.* Почвы Калининградской области. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 104.
- Завалишин А. А., Надеждин Б. В.* Почвенный покров Калининградской области. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 5–31.
- Зборищук Ю. Н., Зырин Н. Г.* Среднее содержание микроэлементов бора, марганца, кобальта, меди, цинка, молибдена и иода в почвах Европейской части СССР // Агрохимия. 1974. № 3. С. 88–94.
- Зейдельман Ф. Г.* Подзоло- и глееобразование. М., 1974. 165 с.
- Зубахов Р. А.* Содержание и поведение меди и бора в окультуренных почвах Псковской области // Тр. Великолукск. с.-х. ин-та, 1972. Вып. 22. С. 41–46.

Зырин Н. Г., Зборищук Ю. Н. Молибден в пахотном слое почв Европейской части СССР // *Агрохимия*. 1976. № 8. С. 105—110.

Иванов Ю. Д. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистых почв на урожай, динамику меди, цинка, марганца и железа в почвах и растениях // *Вестник Моск. ун-та (серия биол., почвоведение)*. 1973. № 5. С. 114—120.

Ивченко В. И. Физиологическое значение молибдена для растений. Автореф. докт. дисс. Харьков. 1973. 46 с.

Ильин В. Б. Химические элементы в системе почва — растение. Новосибирск: Наука, 1982. 113 с.

Калмыков Г. С. и др. Применение микроудобрений на мелиорируемых торфяно-болотных почвах Северо-Западной зоны РСФСР. В сб. // *Освоение, окультурирование и использование мелиорируемых земель Нечерноземной зоны РСФСР*. Л., 1977. С. 89—90.

Канунникова Н. А. Сорбция марганца, кобальта и меди торфяными почвами. В сб. // *Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока*. Улан-Уде, 1971. С. 117—124.

Каталымов М. В. Микроэлементы и микроудобрения. М.: Химия, 1965. 330 с.

Ковальский В. В., Андрианова Г. А. Микроэлементы в почвах СССР. М.: Наука, 1970. С. 179.

Ковальский В. В., Раецкая Ю. И., Грачева Т. И. Микроэлементы в растениях и кормах. М.: Колос, 1971. 235 с.

Ковда В. А., Зырин Н. Г. Микроэлементы в почвах Советского Союза // *Микроэлементы в почвах Европейской части СССР*. М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып. 41. 281 с.

Коломийцева М. Г., Габович Р. Д. Микроэлементы в медицине. М., 1970. 142 с.

Крештанова В. Н. Методические рекомендации по оценке содержания микроэлементов в торфяных месторождениях Европейской части РСФСР. М., 1974. С. 49—60.

Крупский М. К. и др. Микроэлементы в черноземах Лесостепи УССР // *Вестник с.-х. науки*. 1978. № 3. С. 117—118.

Кукреш Н. П. Влияние удобрений на образование и накопление клубеньков на корнях пелюшки, кормовых бобов и люпина // *Сб. научн. тр. Белорус. НИИ земледелия*. Минск, 1971. С. 63—69.

Кулаковская Т. Н., Роговой П. П., Смян Н. И., Куликов Н. В. Почвы БССР. Минск, 1974. 52 с.

Лашкевич Г. И. Значение микроэлементов в повышении урожая // *Изв. АН БССР (Сер. биол. науки)*, 1980. № 2. С. 54—59.

Лернер Л. А., Иванов Д. Н. Определение содержания подвижных форм меди, кобальта, цинка, марганца, в почвах методом атомно-аб-

сорбционной спектрофотометрии // *Агрохимия*, 1970. № 7. С. 137—143.

Лупинович И. С., Дубиковский Г. П. и др. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений. Минск, 1970. 196 с.

Лупинович И. С., Дубиковский Г. П. Содержание микроэлементов в почвах Белорусской, Латвийской, Литовской ССР. В сб. // Микроэлементы в почвах Советского Союза. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 123—150.

Моругина М. И. и др. Известкование кислых дерново-подзолистых суглинистых почв и содержание микроэлементов в корме бобово-злакового пастбища // *Агрохимия*. 1974. № 4. С. 114—119.

Муравин Э. А., Журавлева С. В. Взаимодействие фосфора, молибдена и меди в процессе питания растений // *Изв. ТСХА*. 1970. № 4. С. 92—100.

Мурниец В. Я. Влияние микроэлементных солей бора, меди, марганца и микроэлементов навоза на урожай и качество сахарной свеклы и картофеля. Автореф. канд. дисс. Елгава, 1973. 46 с.

Небольсин А. Н. Токсичность алюминия, марганца и железа при различных уровнях фосфорного питания растений и реакции почвы. В сб. // Повышение плодородия дерново-подзолистых почв. Л., 1977. С. 3—15.

Небольсин А. Н., Небольсина З. П. О регулировании содержания микроэлементов в кормовых растениях. // *Агрохимия*. 1969. № 11. С. 141—147.

Нелюбова Г. Л., Старовойтова В. П. Изменение содержания бора в дерново-подзолистых почвах при длительном применении различных доз и видов удобрений и известковании // *Изв. ТСХА*. 1979. № 2. С. 100—108.

Ноллендорф А. Ф. и др. Применение атомно-абсорбционной спектрофотометрии для определения макро- и микроэлементов в растениях. В кн. // Микроэлементы в комплексе минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1975. С. 190—210.

Озолия Г. Г., Лапина Л. П. Особенности физиологического действия меди при обогащении ею семян. В сб. // Микроэлементы — регуляторы жизнедеятельности и продуктивности растений. Рига: Зинатне, 1971. С. 65—92.

Опенлендер И. В. Эффективность микроудобрений на эродированных почвах // *Вестник с.-х. науки*. 1984. № 10. С. 90—100.

Панасин В. И. Микроудобрения. В кн. // *Справочник агронома*. Калининград: Кн. изд-во, 1968. С. 242—252.

Панасин В. И. Агрохимические свойства оторфованных польдерных земель Калининградской области и эффективность минеральных удобрений. Автореф. канд. дисс. Л., 1970. 18 с.

Панасин В. И. Агрохимические свойства почв Калининградской области и применение удобрений. Калининград: Кн. изд-во, 1974. 268 с.

Панасин В. И. Содержание микроэлементов в почвах Калининградской области. Калининград: Кн. изд-во, 1979. 105 с.

Панасин В. И. Калининградская область РСФСР. Эффективность микроудобрений. В кн. // Микроэлементы в почвах СССР. М.: Изд-во МГУ, 1981. С. 73—76.

Панасин В. И. и др. Комплексная предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур протравливателями, микроэлементами и пленкообразующими препаратами (краткая инструкция). М., 1984. 8 с.

Панасин В. И. и др. Применение микроэлементов при некорневых подкормках сельскохозяйственных культур (краткая инструкция). М.: Россельхозиздат, 1985. 14 с.

Панасин В. И. и др. Репродуктивная функция коров при дефиците микроэлементов // Животноводство. 1985. N 3. С. 42—44.

Панасин В. И. Микроудобрения. В кн. // Научные основы системы земледелия Калининградской области. Калининград: Кн. изд-во, 1982. С. 52—69.

Панасин В. И. Особенности применения цинковых удобрений. В сб. // Резервы повышения плодородия почв Калининградской области. Калининград: Кн. изд-во, 1983. С. 71—74.

Панасин В. И., Широков В. В. Содержание подвижных форм меди, цинка, кобальта, бора, марганца, молибдена в основных типах почв полейдеров Калининградской области // Агрохимия. 1972. № 5. 1972. С. 136—139.

Панасин В. И., Широков В. В. Содержание меди, цинка, кобальта, бора, марганца и молибдена в полейдерных землях Калининградской области // Тез. докл. VII Всесоюзн. совещания. Рига: Зинатне, 1975. Т. 1. С. 196—197.

Пейве Я. В. Агрохимия и биохимия микроэлементов. М.: Наука, 1980. 430 с.

Перевозчикова Е. М. Микроэлементы в почвообразующих породах Карелии. В сб. // Влияние мелиорации на продуктивность почв Карелии. Петрозаводск, 1983. С. 83—93.

Петербургский А. В., Антонова З. Г., Николов Б. В. Физиологическая роль меди и молибдена в развитии бобовых культур. В сб. // Биол. роль молибдена. М.: Наука, 1972. С. 40—57.

Пилипушко В. Н., Туева Н. А. Изучение подвижности кобальта в почвах и доступности его растениям // Вестн. Ленингр. ун-та. Л., 1972. № 15. С. 105—111.

Писарев Б. А., Подколзина А. К. К вопросу о содержании обменного марганца в дерново-подзолистых почвах // Научн. тр. НИИ картоф. хоз-ва. 1977. № 29. С. 44—49.

Потатиева Ю. А. и др. Микроэлементы в растениях и почвах при систематическом применении минеральных удобрений, навоза и извести. Сообщ. 1 // Агрохимия. 1984. № 6. С. 82—91.

- Прохоров В. М., Москевич Л. П., Кудряшов В. А. Влияние свойств почвы на сорбцию кобальта // Почвоведение. 1979. № 3. С. 46—53.
- Рерих В. И., Зырин Н. Г., Тихомиров Ф. А. О формах кобальта в почве // Вестник МГУ. Биол., почвовед. 1975. № 3. С. 102—109.
- Риндель А. Развитие культуры болот в Финляндии. В кн. // Развитие культуры болот за последние 25 лет. С.-Пб., 1910. С. 3—11.
- Ринькис Г. Я. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов в биологических и сельскохозяйственных объектах. В сб. // Микроэлементы в СССР. Рига: Зинатне, 1965. № 7. С. 43—55.
- Ринькис Г. Я. Оптимизация минерального питания растений. Рига. 1972. 355 с.
- Руднева Е. Н., Веригина К. В., Добрицкая Ю. И. О содержании микроэлементов в некоторых почвах и почвообразующих породах Карелии // Почвоведение. 1972. № 10. С. 26—38.
- Рюбенз Э., Рауэ К. Земледелие. М.: Колос, 1969. С. 302—310.
- Санько П. И., Клебанович В. Ф., Синица Л. А. Содержание цинка в почвах БССР // Агрохимия. 1971. № 12. С. 96—105.
- Свириновский Л. Я. и др. Содержание и закономерности распределения подвижной меди в почвах БССР разной степени увлажнения // Вестн. Белорус. ун-та. Минск, 1971. Сер. 2. С. 63—67.
- Седлухо Н. Я., Цыганков А. Р. Влияние механического состава и агрохимических свойств почв на содержание кобальта и бора в почвах Могилевской области // Сб. научн. тр. Белорус. с.-х. академии. Горки, 1983. № 122. С. 24—29.
- Селевцова Г. А., Потатueva Ю. А. Агрохимическое значение примесей микроэлементов в минеральных удобрениях и известковых материалах // Агрохимия. 1981. № 9. С. 132—138.
- Сергеева Ж. В. Распространение микроэлементов в некоторых почвах Ленинградской области // Зап. Ленингр. с.-х. ин-та. Л., 1971. 160. С. 16—20.
- Скворцов В. Ф., Собачкина Л. Н., Рыхлова М. М. Действие молибдена, вносимого под бобовые культуры, на урожай культур полевого севооборота. В сб. // Биологическая роль молибдена. М.: Наука, 1972. С. 145—162.
- Снедекор Дж. У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М.: Сельхозгиздат, 1961. 503 с.
- Собачкин А. А. и др. Единая терминология по проблеме микроэлементов. // Тр. ВНИИ удоб. и агропочвовед. М., 1982. № 62. С. 144—145.
- Собачкина Л. Н., Демкина Е. Н. Результаты изучения эффективности микроудобрений в географической сети опытов ВИУА в 1970—1980 гг. // Тр. ВНИИ удоб. и агропочвовед. М., 1982. № 62. С. 67—83.
- Степанова М. Д. Взаимодействие микроэлементов с органическим веществом почв. // Почвоведение. 1974. № 12. С. 70—73.

Тихонов С. А., Сергиенко В. Т. Глинистые минералы дерново-подзолистых почв Белоруссии, развитых на разных породах. В сб. // Почвоведение и агрохимия. Минск, 1972. Вып. 9. С. 25—34.

Тищенко И. В. Действие кобальта на бобовые растения. // Бюлл. ВНИИ удобрений и агропочвоведения. М., 1974. № 17. С. 49—50.

Тойка М. А. Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов. // Межвуз. сб. Петрозаводского ун-та. Петрозаводск, 1980. 108 с.

Тома С. И., Рабинович И. З., Великсар С. Г. Микроэлементы и урожай. Кишинев, 1980. 172 с.

Турбас Э., Камлет Р., Хисте В. Влияние удобрений на содержание подвижных элементов в почве. // Сб. науч. тр. Эстонск. с.-х. акад. Рига, 1971. № 73. С. 82—91.

Удодов П. А., Солодовникова Р. С., Шварцева Н. М. О связи микроэлементов с органическим веществом почв. В сб. // Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока. Улан-Уде, 1971. С. 112—116.

Федоров Е. Е. и др. Климат Калининградской области. В кн. // Почвы Калининградской области. М.: Изд-во АН СССР, 1981. С. 159—174.

Федотов В. Л., Рубан Н. И. К вопросу о содержании меди в торфах Белорусского Поозерья. В сб. // Биол. активные вещ. в жизни растений и животных. Минск: Высшая школа, 1973. С. 85—89.

Фишер Р. А. Статистические методы для исследователей. М.: Госстатиздат, 1958. С. 268.

Фомин П. И., Фомина О. Г., Новикова З. М., Чернухина А. П. Молибденовые удобрения. // Тр. НИИ по удобрениям и инсектофунгицидам. М., 1976. Вып. 229. С. 61—68.

Фрейнберг Г. Я. Поглощение микроэлементов меди и кобальта некоторыми полевыми культурами в зависимости от содержания органического вещества в почве. // Изв. АН Латв. ССР. Рига, 1970. № 2. С. 116—121.

Фридланд В. М. Элементарные почвенные ареалы как исходные единицы почвенно-географической токсономии и некоторые их производные. В сб. // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М., 1970. С. 3—5.

Цветкова Н. Н. Опыт моделирования процесса миграции марганца в системе растение — почва. // Тез. докл. V Всес. съезда почвоведов. Минск, 1977. Вып. 5. С. 218—219.

Цыпенков В. П. Изменение подвижности меди и ее доступности растениям при взаимодействии с органическими и минеральными частями почвы. // Вестник Ленингр. ун-та. Л., 1972. № 21. С. 133—137.

Чертко Н. К., Свирновский Л. Я., Вашкевич Л. Ф. Некоторые закономерности распределения подвижного бора в почвах БССР. В сб. // Вопросы геогр. Белоруссии. Минск, 1972. Вып. 3. С. 72—79.

Чурбанов В. М., Афанасенко Л. В. Роль минеральной части дерново-подзолистых почв в фиксации бора при их известковании. В сб. // Биологическая роль микроэлементов и их применение в сельском хозяйстве и медицине. М., 1974. С. 244—251.

Чумаченко И. Н. и др. Применение микроудобрений в земледелии (аналит. обзор). // Химия в с.-х. 1984. № 2. С. 17—20.

Шакури Б. К. Закономерности распространения микроэлементов в системе вертикальной зональности. // Вестн. с.-х. науки. 1976. № 10. С. 22—27.

Швидка Г. Д. Взаимосвязь между микроэлементами и свойствами дерново-подзолистых почв Западного Полесья. // Наук. прац. Львів. сільськогосп. ін-т., Львов. 1976. С. 115—117.

Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 323 с.

Щербина В. В. Основы геохимии. М., 1972. 132 с.

Щетинина Л. Л., Альшевский Н. Г., Сеньков А. Н. Эффективность разных способов применения борных удобрений на урожай и качество сахарной свеклы, кукурузы и льна-долгунца на дерново-подзолистых супесчаных почвах Полесья УССР. В сб. // Удобрения и препараты с микроэлементами. Киев. «Наукова думка», 1975. С. 118—125.

Эль-Мелиги А. С. и др. Микроэлементы (медь, кобальт, марганец) в почвах Ленинградской области. // Вестн. Ленингр. ун-та. Л., 1977. № 21. С. 116—123.

Ягодин Б. А. Проблема микроудобрения в земледелии СССР. // Агрохимия. 1981. № 10. С. 146—153.

Яковлева В. В., Кеворков Л. П. Результаты изучения эффективности молибденовых удобрений за 10 лет (1958—1967 гг.). В сб. // Биол. роль молибдена. М., Наука. 1972.

Якушевская И. В. Микроэлементы в природных ландшафтах. М., 1973. С. 125—129.

Якус А. С. Влияние меди и кобальта на урожай и качество культурных лугов на торфяных почвах Литовской ССР. Автореф. канд. дисс. Каунас, 1975. 55 с.

Содержание

Предисловие	3
Введение	5
1. Общая характеристика почвенно-климатических условий Калининградской области	12
2. Особенности процессов почвообразования и микроэлементный состав почвообразующих пород и почвенно-грунтовых вод	16
2.1. Характеристика основных почвообразующих пород	16
2.2. Особенности почвообразования и почвенный покров	22
2.3. Специфика микроэлементного состава почвообразующих пород и почвенно-грунтовых вод	43
2.4. Закономерности распределения микроэлементов в гумусовом горизонте почв	54
3. Зависимость содержания микроэлементов от свойств почв и пород	68
4. Основные аспекты изучения вертикального распределения микроэлементов и геохимические ассоциации накопления и рассеяния микроэлементов в почвах	93
4.1. Особенности вертикального распределения микроэлементов в почвах	93
4.2. Геохимические ассоциации накопления и рассеяния микроэлементов в почвах	132
5. Влияние уровня химизации земледелия на содержание и подвижность микроэлементов в почвах	140
6. Вариационно-статистическое моделирование закономерностей распределения микроэлементов в почвах	173
7. Особенности географического распределения микроэлементов в почвах	190
7.1. Методические исследования по крупномасштабному картографированию валовых и подвижных форм микроэлементов	190
7.2. Картографирование содержания валовых и подвижных форм микроэлементов	199
8. Микроэлементы и урожай	213
8.1. Влияние микроудобрений на урожай сельскохозяйственных культур	213
8.2. Влияние микроудобрений на качество урожая	233
Приложения	251
Литература	264

Научное издание
Владимир Ильич Панасин
МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И УРОЖАЙ
Монография

Редактор *С. А. Горбунова*
Технический редактор *Т. М. Андреева*
Корректор *Т. Н. Каранова*

ЛР № 010025 от 27.09.96 г. Подписано в печать 06.07.2000 г. Формат бумаги 60х84/16. Бумага офсетная
Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,04. Уч.-изд. 17,12. Тираж 100 экз. Заказ 6052. С011

ОГУП «Калининградское книжное издательство»,
236000, Калининград, Советский пр., 13.

ГИПП «Янтарный сказ», 236000, Калининград, ул. К. Маркса, 18.



Доктор сельскохозяйственных наук профессор Панасин Владимир Ильич более 30 лет бесменно возглавляет проектно-исследовательский центр агрохимической службы «Калининградский».

После окончания кафедры агрохимии Ленинградского государственного университета в 1964 году В. И. Панасин был направлен на работу в Калининградскую область. Здесь произошло его становление как ученого-агрохимика. Многим известны его научные работы по уникальным для страны польдерным землям. По самым разным аспектам агрохимической науки им опубликовано свыше 200 научных работ. Сегодня его знают как крупного ученого-агрохимика не только в России, но и далеко за ее пределами.

ISBN 5-85500-385-X

