

TRACE ELEMENTS:
BIOLOGICAL ROLE,
DISTRIBUTION IN SOILS,
EFFECT ON HUMAN
AND ANIMAL DISEASES
DISTRIBUTION

N. A. PROTASOVA

The biological role of obligatory trace elements and some rare elements in the life of plants, animal, and humans is considered. Regularities governing the spatial distribution of these elements have been revealed in soil-forming rocks and soils. A correlation between the content of trace elements in soils and their ability to cause different diseases is shown.

Рассмотрены значение и биологическая роль редких и рассеянных химических элементов (микроэлементов) в жизни растений, животных и человека. Представлены данные о содержании и распределении ряда микроэлементов в почвах Центрального Черноземья России. Показано, как влияет микроэлементный состав почв на распространение заболеваний человека и животных.

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ:
БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ,
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПОЧВАХ,
ВЛИЯНИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА
И ЖИВОТНЫХ**

Н. А. ПРОТАСОВА

Воронежский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

Редкие и рассеянные химические элементы (микроэлементы) играют большую роль в нашей жизни. Микроэлементы необходимы растениям в относительно малых количествах. Их недостаток в почвах, как и избыток, приводит к снижению урожайности культурных растений, ухудшению качества сельскохозяйственной продукции, а в некоторых случаях является причиной эндемических (местных) заболеваний растений, животных и человека. Поступление микроэлементов в живые организмы осуществляется в системе почвы—растения—животные—человек. При этом человек получает микроэлементы как с животной, так и с растительной пищей.

Выявление районов с оптимальным, недостаточным или избыточным содержанием микроэлементов в почвах дает возможность регулировать уровень их содержания для получения полноценной сельскохозяйственной продукции и исключения эндемических заболеваний животных и человека. Микроудобрения являются мощным средством, с помощью которого возможно регулирование микроэлементного состава почв.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Элементы, содержащиеся в организмах в очень небольших количествах (10^{-3} % и меньше), принято называть микроэлементами. Этот термин условный, так как содержание некоторых из них в организмах может достигать 10^{-2} – 10^{-1} %. Впервые на особую роль микроэлементов в биологических процессах указал основатель отечественной геохимии академик В.И. Вернадский. Он отметил, что состав почв не случаен, а находится в тесной связи с составом других частей биосферы. Постоянно и не случайно присутствуют микроэлементы в растительных и животных организмах. В.И. Вернадский создал учение, согласно которому химические элементы косной и живой материи связаны, ряд элементов жизненно необходим любому живому организму. Без их

достаточного количества не могут протекать основные физиолого-биохимические реакции живого организма. Мощное воздействие микроэлементов на физиологические процессы объясняется тем, что они входят в состав так называемых аксессуарных веществ: дыхательных пигментов, витаминов, гормонов, ферментов, а также коферментов, участвующих в регуляции жизненных процессов. Микроэлементы влияют на направленность действия ферментов и их активность. Это дало основание известному российскому ученому-агробиохимику А.В. Петербургскому назвать микроэлементы катализаторами катализаторов.

Микроэлементы требуются для всех организмов лишь в оптимальных количествах. Полное отсутствие микроэлементов в питании так же, как и избыток их, вызывает заболевания и гибель живых организмов от болезней, связанных с резким нарушением обмена веществ. Микроэлементы участвуют в таких важнейших биохимических процессах, как дыхание (медь, цинк, марганец, кобальт), фотосинтез (марганец, медь), синтез белков (марганец, кобальт, медь, никель, хром), кроветворение (кобальт, медь, марганец, никель, цинк), белковый, углеводный и жировой обмен веществ (молибден, ванадий, кобальт, вольфрам, марганец, цинк), синтез гумуса (медь).

Живые организмы весьма требовательны к определенной концентрации микроэлементов в среде, к набору, соотношению и формам их соединений. Недостаток или избыток микроэлементов в почвах одинаково вредно сказывается на развитии организмов, вызывая эндемические заболевания растений, животных, человека. Например, с недостатком меди связаны суховершинность плодовых деревьев, атаксия (нарушение координации движений) овец и крупного рогатого скота; избыток меди и цинка приводит к заболеванию животных анемией (малокровием). При недостатке цинка развиваются розеточная болезнь плодовых деревьев, пятнистость листьев у цитрусовых, побеление верхушки у кукурузы, прекращение роста, паракератоз (утолщение кожи) животных. При сильном борном голодании у растений не образуются цветки, сахарная свекла заболевает сердцевинной и сухой гнилью, а лен — бактериозом. В случае молибденовой недостаточности у томатов наблюдаются пятнистость листьев и их свертывание, а у цветной капусты — нитевидность листьев. Недостаток марганца приводит к заболеванию хлорозом табака, кукурузы, хлопчатника, бобовых, овса, сахарной свеклы. При высоком содержании бора в почвах появляются низкорослые растения распластанной или кустистой формы. Избыточное содержание стронция в почвах приводит к образованию уродливых форм у растений.

Давно известна уникальная способность бобовых растений поглощать молекулярный азот из атмосферного воздуха. Это поглощение находится под строгим контролем трех металлов: молибдена,

кобальта и ванадия, которые стимулируют эту фиксацию, а в конечном итоге и синтез белка. Предполагают и участие во всех этих явлениях еще одного металла — титана. Стронций в малой дозе способен повышать содержание крахмала в клубнях картофеля. Растения извлекают из почвы микроэлементы выборочно: кукуруза — золото и цинк, полынь — марганец, красный мухомор — ванадий, фиалка и табак — цинк, хлопчатник — кобальт. Результатом избирательного поглощения микроэлементов из почвы является их неодинаковое накопление в самом растении. Например, чечевица интенсивно концентрирует титан и мышьяк, гречиха — бор, стронций, молибден, чай — кобальт, медь, фтор, кукуруза — медь, селен, олово, цинк, свекла — цинк, марганец, фтор, медь, бор, все бобовые — молибден и ванадий.

Итак, микроэлементы поступают в растения из почвы, а животные и человек получают их с пищей. Как чувствуют себя живые организмы, получающие микроэлементы из почв с различным уровнем их содержания, при дефиците или избытке? Избыток в почве даже полезных для растений веществ может оказаться ядом для них и микроорганизмов. Профессор МГУ Е.П. Троицкий отмечает, что нет вредных веществ, есть вредные концентрации.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ

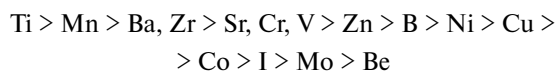
В составе почв обнаружены почти все элементы Периодической системы Д.И. Менделеева, которые найдены и в растениях. Главным источником поступления микроэлементов в почвы являются материнские горные породы. Микроэлементы могут поступать в почву с метеоритной и космической пылью, вулканическими газами, с морскими брызгами, из почвенно-грунтовых вод, в результате геохимической деятельности человека и техногенного загрязнения биосферы.

В почвах наблюдаются накопление, поглощение и закрепление большого числа микроэлементов. Поглощение микроэлементов происходит различными путями: они могут входить в состав поглощенных катионов, в кристаллическую решетку первичных и вторичных минералов, могут давать собственные коллоидные минералы, адсорбироваться на поверхности коллоидных частиц, входить в состав органического вещества, образовывать нерастворимые соединения (соли, оксиды).

Содержание и распределение микроэлементов в почвах зависят от направления и степени развития почвообразовательного процесса и особенностей поведения микроэлементов в ландшафте. Характер распределения микроэлементов в почвенном покрове определяется гумусностью, гранулометрическим составом, реакцией среды, окислительно-восстановительными условиями, емкостью поглощения, содержанием CO_2 . В кислой среде уменьшается подвижность молибдена, но увеличивается подвижность меди, марганца, цинка и кобальта. Такие

микроэлементы, как бор, фтор и иод, подвижны как в кислой, так и в щелочной среде. Некоторые микроэлементы, например бор, образуют с органическим веществом растворимые соединения, другие (иод и медь) закрепляются и становятся недоступными для растений. Растениям доступны микроэлементы, находящиеся в растворимом или поглощенном состоянии. Количество подвижных микроэлементов составляет всего 5–25% их валового содержания. Рассмотрим содержание и распределение микроэлементов на примере почв Центрального Черноземья [1]. В гумусовом горизонте серых лесных почв и черноземов наблюдается заметная аккумуляция микроэлементов (медь, бериллий, марганец, иод). В карбонатном горизонте всегда накапливается стронций (табл. 1).

В результате почвообразовательного процесса происходит перераспределение элементов по профилю. Микроэлементный состав почв региона выглядит так:



Серые лесные почвы сохраняют запасы титана, бария, хрома, цинка, молибдена и бериллия (рис. 1). Содержание марганца, циркония, бора, иода в них повышается за счет биологической аккумуляции. Концентрация ванадия, меди, стронция, никеля и кобальта несколько снижается вследствие их миграции в кислой среде.

Самые плодородные почвы Центрального Черноземья – черноземы имеют более высокий уровень содержания всех элементов, чем почвообразующие породы (см. рис. 1). Черноземы принято считать почвами оптимального микроэлементного состава, своего рода эталонами. Однако при детальном изучении оказалось, что это не совсем так. В определенных геохимических условиях даже плодородные черноземы могут испытывать недостаток или избыток тех или иных микроэлементов или их

подвижных форм. Например, по сравнению с кларком – средним, нормальным содержанием в почвах (термин предложен А.П. Виноградовым [2]) черноземы Центрального Черноземья имеют дефицит таких микроэлементов, как бериллий, стронций, ванадий, хром, подвижных форм цинка и молибдена (см. рис. 1).

Таким образом, в почвенном покрове определенной территории наблюдается отчетливая дифференциация в содержании и распределении микроэлементов. Для каждого элемента характерны свои особенности географического (пространственного) распространения в почвах. Концентрация большинства микроэлементов в одних и тех же почвах варьирует в больших пределах в зависимости от их гумусированности, величины pH, емкости поглощения, гранулометрического состава, карбонатности. Закономерности географического распространения микроэлементов в почвенном покрове используют для проведения почвенно-геохимического районирования отдельных регионов.

СВЯЗЬ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ С РАСПРОСТРАНЕНИЕМ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Выдающийся российский ученый-геохимик А.П. Виноградов дал понятие о биогеохимических провинциях – это “области земли, в пределах которых у организмов наблюдается биологическая реакция на определенный уровень содержания химических элементов во внешней среде”. В работах В.В. Ковальского показана изменчивость биогеохимических процессов синтеза и активности ферментов, гормонов, витаминов и других активных соединений живых организмов под влиянием геохимических условий внешней среды [3]. Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что в отдельных районах Земли обнаруживаются отклонения в физиолого-биохимических реакциях

Таблица 1. Содержание микроэлементов в почвах Центрального Черноземья, мг/кг почвы [1]

Глубина, см	B	I	Mo	Ti	Cr	V	Ni	Be	Ba	Zr	Sr	Mn	Zn	Cu	Co
Серая лесная суглинистая почва															
0–10	40	1,8	1,3	3700	30	40	20	<1	520	600	70	466	33	9	6
20–30	40	1,3	1,3	3200	26	37	20	<1	490	600	45	425	32	9	5
60–70	28	0,9	0,9	2600	31	45	22	<1	440	340	46	313	36	9	6
100–110	28	1,0	0,8	3400	46	56	21	<1	570	220	57	300	33	10	6
140–150	39	1,3	0,8	3900	37	55	20	<1	600	370	64	339	29	9	6
Чернозем типичный тяжелосуглинистый															
0–28	31	5,7	2,5	6100	125	78	43	1,7	570	340	92	766	61	24	12
40–50	51	4,3	1,9	7500	109	78	38	1,7	580	340	125	691	59	24	12
80–90	48	4,5	2,0	5000	76	63	27	1,4	500	275	150	631	57	24	11
120–130	39	4,1	–	–	74	66	28	1,2	455	230	270	588	58	16	11
140–150	33	3,3	1,9	–	79	63	30	1,1	410	310	300	674	59	16	12

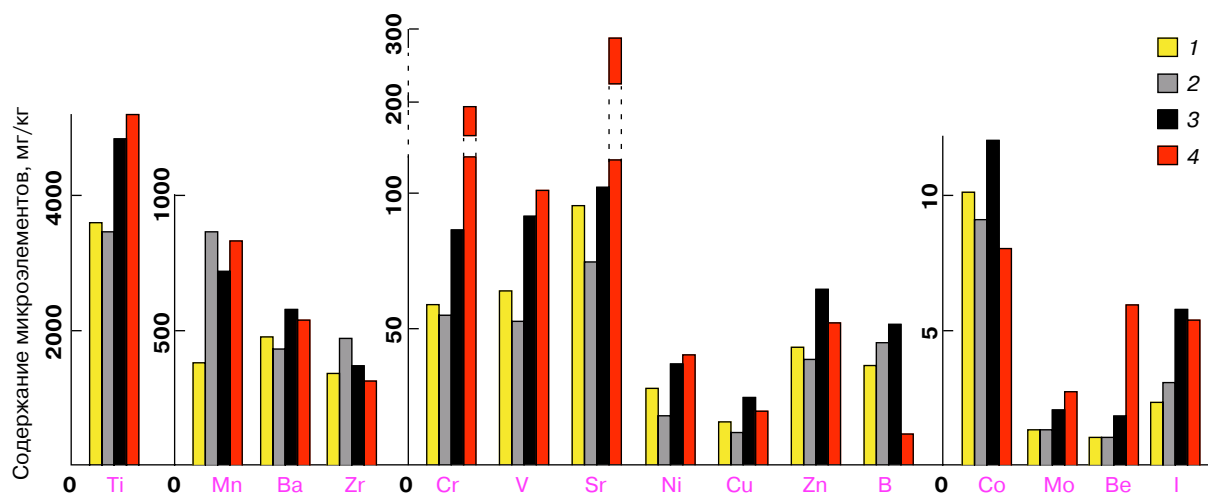


Рис. 1. Микроэлементный состав почвообразующих пород и почв Центрального Черноземья: 1 – почвообразующие породы, 2 – серые лесные почвы, 3 – черноземы, 4 – кларк по Виноградову

организмов, вызванные либо недостатком, либо избытком химических элементов, которые находятся выше или ниже пороговой чувствительности для данного рода, вида, популяции за счет естественных или антропогенных факторов. В конечном итоге это приводит к возникновению различных болезней растений, животных и человека.

Во многих странах широко распространенные болезни (зоб, кариес, флюороз, мочекаменная болезнь, анемии, аллергии) приурочены к определенным географическим ландшафтам. Установлено, что причины этих болезней – недостаток или избыток поступления одного или нескольких элементов с пищей. Например, эндемический зоб с давних пор связывают с биогеохимическими особенностями географических ландшафтов. Низкое поступление в пищевую цепь иода вызывается наличием его малодоступных форм. В почве иод прочно связывается гуминовыми веществами.

Действие многих химических элементов (кобальт, марганец, свинец и др.) может ослаблять усвоение иода либо способствовать ему. Недостаточное поступление иода, кобальта и высокое марганца оказывает неблагоприятное воздействие на щитовидную железу человека и животных. При недостатке иода в организме человека и животных происходит нарушение функции щитовидной железы вплоть до появления зоба. Чем меньше иода в почвах и водах, тем сильнее население поражается зобной болезнью. При дефиците фтора и молибдена развивается кариес зубов у человека, при избытке – флюороз (разрушение зубной эмали). При избыточном поступлении молибдена с пищей (в районах рудных месторождений) человек болеет эндемической подагрой или молибденовым токсикозом.

Медико-биологические исследования свидетельствуют о том, что не только эндемические забо-

левания имеют территориальные принципы распространения. Такие заболевания, как атеросклероз, желудочно-кишечные, сердечно-сосудистые, эндокринные, сахарный диабет, костно-суставные, также ограничены территориально. Эти болезни в той или иной мере обусловлены количественным содержанием одного или группы химических элементов, находящихся в окружающей среде. Из неинфекционных болезней наиболее часто связывают с химическим составом отдельных объектов или компонентов биосферы уролитиаз (мочекаменная болезнь); из сердечно-сосудистых – атеросклероз, кардиосклероз, реже ишемическую болезнь сердца; из желудочно-кишечных болезней – колиты, язвы; печени – холециститы и другие болезни. В одних случаях болезни обусловлены недостатком, в других – избытком одного или же нескольких элементов в одном объекте или во всей биогеохимической цепи, в третьих – дисбалансом химических элементов во всей пищевой цепи, реже в отдельных объектах (компонентах) биосферы.

Работами исследователей показана зависимость между химическим составом почв и частотой различных заболеваний среди населения. Баланс микроэлементов в окружающей среде через воду и продукты питания отражается на балансе микроэлементов в человеческом организме.

Известно, что химизм среды оказывает существенное влияние на жизнь организма и особенности химического состава среды – причина многих патологических состояний человека и животных.

В развитии сердечно-сосудистых заболеваний участвуют хром, кобальт, медь, иод, марганец, молибден, никель, ванадий, цинк. В США смертность от сердечно-сосудистых болезней коррелирует с типами почв, которые резко различаются по содержанию в них микроэлементов. Более высокая

смертность от сердечно-сосудистых болезней наблюдается при общем дефиците микроэлементов. Например, самая высокая смертность от ишемической болезни сердца отмечается в северных районах Великобритании и северо-восточном районе Финляндии, где преобладают подзолистые почвы с дефицитом микроэлементов.

Наши исследования, проведенные совместно с И.М. Голубевым (Мичуринский педагогический институт), свидетельствуют о влиянии микроэлементного состава почв на распространение заболеваний среди населения Тамбовской области. Например, установлена положительная корреляционная связь между содержанием в почве стронция и распространением гипертонической болезни; стронция, титана, хрома, никеля – ИБС. Из всех микроэлементов необходимо выделить стронций, хром и бериллий, которые находятся в дефиците во всех почвах области. Нами установлена прямая зависимость между содержанием иода в почвах области и распространением эндартериита облитерирующего (заболевания сосудов), стронция – и болезни крови и кроветворных органов.

Многие исследования свидетельствуют о влиянии металлов на развитие различных заболеваний органов пищеварения у человека. Кобальт, медь, марганец, цинк играют главную роль при патологии органов пищеварения и печени. Хром, кобальт, никель, цинк, кадмий обладают канцерогенным действием. Повышенное содержание в среде обитания (почва, вода, пищевые продукты) цинка и молибдена увеличивают частоту поражения населения раком желудка и пищевода. Как показали исследования А.А. Омеляшко, рак желудка и легкого наиболее часто встречается среди жителей населенных пунктов, расположенных на слабокислых почвах, бедных железом, кобальтом и цинком. Г.П. Дубиковский установил положительную корреляционную связь содержания в почвах валовых форм бора, молибдена, марганца, титана, хрома, никеля, стронция, бария и цинка с распространением рака желудка в Белоруссии.

Наши исследования показали, что на распространение желудочно-кишечных заболеваний в Тамбовской области влияет содержание в почвах стронция, бериллия и никеля. Исследования, проведенные Ю.Г. Покатиловым в Сибири, продемонстрировали, что загрязнение окружающей среды, прежде всего почв, является одной из причин роста сердечно-сосудистых заболеваний: ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда, артериальной гипертонии, пороков сердца [4].

Если при недостаточном поступлении цинка в организм человека возможны развитие карликовости, замедление полового созревания, поражения кожи, слизистых оболочек, дерматиты, облысение, паракератозы, то при его избытке развиваются анемии. Недостаток лития способствует маниакально-

депрессивным психозам, шизофрени и другим психическим заболеваниям. Селен положительно влияет на состояние сердечно-сосудистой системы, образование красных кровяных телец, повышает иммунные свойства организма. Биогеохимическая ситуация, усложняемая техногенным загрязнением, сказывается на многих демографических показателях, прежде всего на продолжительности жизни людей. Чем неудовлетворительнее биогеохимическая обстановка, тем раньше и тяжелее та или иная заболеваемость человека [4].

Почва – среда обитания многочисленных низших животных и микроорганизмов, в том числе бактерий, плесневых грибов, вирусов и т.д. Постоянно или временно в почве обитают так называемые патогенные беззлетворные микроорганизмы, возбудители инфекционных болезней. К патогенным бактериям относятся возбудители таких опасных инфекционных заболеваний, как сибирская язва, газовая гангрена, ботулизм. Возбудители этих болезней в почвах способны оставаться многие десятилетия. Уровни содержания химических элементов в почве могут влиять либо на особенности жизнедеятельности возбудителя инфекции, либо на условия существования носителей и переносчиков.

Имеются отдельные сообщения о роли биогеохимических факторов в природной очаговости чумы, клещевого энцефалита. На примере Воронежской области можно оценить возможную роль почвенно-геохимических факторов в природной очаговости инфекций, постоянно регистрируемых на территории области: бешенства, сибирской язвы, лептоспироза, ку-лихорадки. Например, очаги бешенства среди животных приурочены к почвам с пониженным содержанием титана, никеля и циркония. Наиболее активные очаги сибирской язвы среди крупного рогатого скота расположены на почвах с высокой концентрацией титана. Лептоспироз у животных наиболее часто регистрируется в районах с почвами, имеющими дефицит всех микроэлементов, кроме титана и циркония. Высокая заболеваемость ку-лихорадкой отмечается в местах пониженного содержания в почвах никеля и титана. Таким образом, особенности микроэлементного состава почв можно использовать для индикации участков повышенной очаговости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время хорошо изучено распространение в различных почвах так называемых облигатных элементов: марганца, меди, цинка, кобальта, молибдена, бора, иода, которые применяют в растениеводстве и животноводстве. И весьма скудная информация имеется по содержанию в почвах таких редких и рассеянных элементов, как хром, ртуть, свинец, кадмий, олово, которые являются опасными загрязнителями окружающей среды, в том числе и почв. В агрохимической науке представлено

много данных об эффективности применения микроудобрений под различные культуры на почвах, недостаточно обеспеченных подвижными формами микроэлементов. Например, применение борных, марганцевых и цинковых удобрений под сахарную свеклу повышает содержание сахара в ее корнеплодах на 0,5%. Эффективно применение цинковых микроудобрений под кукурузу и молибденовых под бобовые культуры. Что касается медных и марганцевых удобрений, то их внесение целесообразно под картофель, бобовые, кукурузу. Микроудобрения не только повышают урожай сельскохозяйственных культур, но и улучшают качество продукции (например, увеличивают содержание белка в зерне; витаминов, углеводов в овощных и плодовых культурах, крахмала в картофеле, масла в семенах подсолнечника). Иодные микроудобрения способствуют увеличению количества иода в овощных культурах: моркови, редисе, свекле, цветной капусте, что существенно повышает их пищевую ценность, особенно в районах, неблагополучных по эндемическому зобу.

Рациональное эффективное применение микроудобрений в растениеводстве и подкормок животным, прогнозирование природно-очаговых и эндемических заболеваний животных и человека, профилактика неинфекционных заболеваний, а также составление наиболее оптимального в микроэлементном отношении рациона питания насе-

ления немислимы без знания закономерностей географического распространения микроэлементов в различных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасова Н.А., Шербаков А.П., Копаева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. 168 с.
2. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
3. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 300 с.
4. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы. Новосибирск: Наука, 1993. 168 с.

* * *

Нина Алексеевна Протасова, кандидат биологических наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии биолого-почвенного факультета Воронежского государственного университета. Области научных интересов – химия почв, биогеохимия и экология. Автор более 70 научных работ, соавтор трех монографий и учебного пособия.