

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА

Н.В. Прохорова, Н.М. Матвеев¹

Представлен обзор современных данных по проблеме уровней содержания и распространения тяжелых металлов в экосистемах на фоне выраженного техногенеза. Показаны пути поступления тяжелых металлов в окружающую среду, особенности их миграции и аккумуляции, дан сравнительный материал о накоплении тяжелых металлов в почвах и растениях, рассмотрены современные принципы экологического нормирования.

В условиях бурного развития промышленности, энергетики и транспортных коммуникаций, интенсивной разработки полезных ископаемых, активной химизации сельского хозяйства происходит резкий рост уровня загрязнения природной среды и в первую очередь почв и растений. В последние десятилетия среди наиболее опасных загрязнителей все чаще называют тяжелые металлы. Их миграция и перераспределение в компонентах экосистем зависят как от целого комплекса природных факторов, так и от интенсивности и характера техногенеза.

Термин "тяжелые металлы" был заимствован из технической литературы, относящей к этой группе химические элементы, обладающие свойствами металлов и металлоидов, с плотностью более 5 г/см³ [1]. Для биологической классификации целесообразнее руководствоваться не плотностью, а атомной массой [2]. С этих позиций к тяжелым металлам относят химические элементы с атомной массой более 40 у.е. [1] или - более 50 у.е. [2, 3, 4]. В исследованиях биологов, экологов и биогеохимиков чаще всего рассматриваются Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Hg, Pb, реже - Ti, V, Mn, Fe, Sr, As и некоторые другие элементы [1, 2, 5, 6].

По известной биологической классификации химических элементов тяжелые металлы принадлежат к группам микро- и ультрамикроэлементов [1]. Cu, Zn, Mo, Co, Mn, Ni и другие давно известны физиологам как микроэлементы [7]. Таким образом, термины "тяжелые металлы" и "микроэлементы" относятся к одним и тем же химическим элементам, а употребление того или иного термина связано с их концентрацией [1, 2].

В природе тяжелые металлы являются преимущественно рассеянными химическими элементами, хотя уровень их содержания в горных породах существенно различен, о чем свидетельствуют средние содержания (кларки) тяжелых металлов в земной коре [2, 5, 8].

Кроме уже упоминавшейся классификации тяжелых металлов [1], существуют и другие биологические классификации, основанные на их биохимическом поведении

¹ Прохорова Наталья Владимировна, Матвеев Николай Михайлович. Кафедра экологии, ботаники и охраны природы Самарского государственного университета

и физиологической роли [9], степени токсичности для живых организмов [2, 9, 10], степени биологического поглощения и др. По классификации Дж. Вуда [2] к очень токсичным отнесены следующие тяжелые металлы: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, As, Se, Te, Rb, Ag, Cd, Hg, Pb, Sb, Pt. Приоритетными загрязнителями считаются Hg, Pb, Cd, Zn, As, так как их накопление в среде идет наиболее высокими темпами [2].

Определенный интерес в плане экологических исследований представляют биогеохимические классификации элементов. По наиболее распространенной из них, все элементы земной коры делятся на 5 групп: литофильные, халькофильные, сидерофильные, атмофильные и биофильные [11, 12].

Для понимания процессов миграции и аккумуляции тяжелых металлов важно учитывать и разграничивать источники их поступления в окружающую среду. В самом общем плане выделяют естественные (природные) и техногенные источники тяжелых металлов [1, 2, 13, 14].

Первичное местонахождение тяжелых металлов на планете - верхняя мантия, базальты и граниты [15], поэтому естественным источником тяжелых металлов для почв являются горные породы (осадочные, магматические, метаморфические), на продуктах выветривания которых сформировался почвенный покров [2, 11]. Осадочные породы, воды океана, живое вещество - уже вторичные резервуары, содержащие тяжелые металлы [15]. Насыщенность разных горных пород тяжелыми металлами существенно различается, хотя в сравнении с другими химическими элементами их содержание в горных породах невелико [2, 11, 15, 16, 17].

Эти различия связаны с минералогическим составом горных пород, так как в них тяжелые металлы приурочены к определенной группе минералов. Наибольшая насыщенность тяжелыми металлами свойственна собственным и аксессуарным минералам [15, 17, 18]. В процессе выветривания коренных горных пород тяжелые металлы в значительной мере сохраняются в рыхлых образованиях, изменив форму и место присутствия. При этом главными носителями тяжелых металлов становятся вторичные минералы, гидроксиды и оксиды полуторных элементов в составе почвообразующих пород [2, 17]. Почвообразующие горные породы разного гранулометрического состава по концентрации тяжелых металлов могут сильно различаться. Песчаные и супесчаные породы содержат небольшое их количество, суглинистые и глинистые - значительное [2, 6, 15, 19]. Из почвообразующих пород тяжелые металлы переходят в почвы в соответствии с закономерностями миграции и аккумуляции их в различных геохимических ландшафтах [20].

Кроме горных пород, естественными источниками тяжелых металлов для основных компонентов биосферы являются термальные воды и рассолы (Br, Sr, As, Pb, V, Se, Cu и др.), космическая и метеоритная пыль, вулканические газы [15].

Техногенное поступление тяжелых металлов в биосферу связано с разнообразными источниками [2, 21, 22]. К важнейшим из них относятся следующие:

- карьеры и шахты по добыче полиметаллических руд [2];
- предприятия цветной и черной металлургии [2, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32];
- электростанции, сжигающие уголь [2, 21, 23, 24, 29, 35, 36, 37, 38];
- сжигание различных отходов [39, 40, 41, 42];
- металлообрабатывающие предприятия [1, 2, 43, 44, 45];
- автотранспорт [1, 2, 13, 27, 28, 32, 41, 46];
- минеральные и органические удобрения, сточные воды и отходы животноводческих комплексов [1, 2, 13, 15, 47, 48, 49, 50, 51].

Внимание экологов к техногенным источникам поступления тяжелых металлов

в биосферу объясняется все возрастающими объемами промышленных выбросов и отходов. Установлено, что загрязнение тяжелыми металлами превышает природные поступления: по Pb - в 18,3; по Cd - в 8,8; по Zn - в 7,2 раза [52, 53].

Основными источниками атмосферного загрязнения являются тепловые электростанции (27 %), предприятия черной металлургии (24,3 %), предприятия по добыче и переработке нефти (15,5 %), транспорт (13,1 %), предприятия цветной металлургии (10,5 %), а также предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов (8,1 %), химическая промышленность (1,3 %) [35]. В почвенном покрове наиболее мощные потоки тяжелых металлов возникают вокруг предприятий черной и цветной металлургии, причем более 95 % их попадает в почвы в виде техногенной пыли [1, 2, 24, 26], большая часть - в виде сухих осадений, а 15-25 % - с атмосферными осадками [29].

В дополнение к техногенным источникам тяжелых металлов, загрязняющих почвы через атмосферу, часть их поступает в почвенный покров с удобрениями, пестицидами, осадками сточных вод, отходами промышленности и бытовым мусором. [1, 13, 41, 47, 54, 55].

Важнейшим моментом в охране окружающей среды и одной из экологических характеристик тяжелых металлов является знание их нормального (фонового) содержания в почвах и параметры его возможного техногенного изменения, что позволяет осуществлять контроль за состоянием почвенного покрова, определять темпы и степень загрязнения его тяжелыми металлами [2].

В настоящее время нет единого взгляда на определение фонового содержания тяжелых металлов в почве. Чаще всего под фоновыми подразумеваются уровни содержания тяжелых металлов в почвах на значительном удалении от их техногенных источников [5, 6]. Существует также мнение, что за настоящий "чистый" (естественный) фон следует принимать те концентрации тяжелых металлов, которыми характеризовались почвы до начала научно-технической революции [56]. В распоряжении экологов и геохимиков таких данных очень немного, поэтому за фоновое содержание тяжелых металлов в почве принимают средние статистические данные о содержании тех или иных элементов в различных типах почв и почвенных регионах, исключая данные по техногенно загрязненным почвам. С ними обычно сравнивают средние, локальные или индивидуальные концентрации соответствующих элементов в целях обнаружения нормального, повышенного или аномально повышенного токсического количества (геохимические аномалии) [15].

Наметилось два основных подхода к определению фоновых уровней загрязняющих веществ в ландшафтах [57]. Первый (метод кларков) - заключается в подсчете средних содержаний химических элементов в отдельных компонентах природной среды [2, 5, 13, 58, 59, 60, 61]. Другой подход состоит в исследовании конкретного распределения химических элементов в почвах и других элементах ландшафта. При этом выявляются не столько уровни содержания, сколько типы распределения элементов в зависимости от условий миграции и аккумуляции их в ландшафтах [20, 62, 63, 64], а для оценки фонового распределения элементов предложено понятие "фоновая геохимическая структура" [65], которая характеризуется рядом геохимических коэффициентов: коэффициенты радиальной и латеральной дифференциации, биологического поглощения.

Вопрос о том, какие данные привлекать для получения средних значений содержания элементов в почве, достаточно сложен и не всегда однозначно понимается разными исследователями. Именно поэтому многочисленные данные разных исследователей являются несравнимы ми в силу различий в подходах к определению сред-

них фоновых значений [2].

Чаще всего, говоря о фоновых или нормальных значениях содержания тяжелых металлов, подразумевают их содержание в верхнем корнеобитаемом слое почвы (0-10, 0-20 см). Многими исследователями установлено, что тяжелые металлы преимущественно аккумулируются именно в нем [2, 13, 26, 66, 67], и коррелируют с содержанием органического вещества, взаимодействуя с ним [25, 68, 69, 70, 71, 72, 73]. В процессе почвообразования происходит постепенное освобождение тяжелых металлов в профиле почвы из почвообразующих пород, постоянно идут процессы их водной миграции [74]. Кроме того на поверхность почвы выпадают компоненты атмосферного загрязнения в связи с ближним и дальним переносом загрязняющих веществ. Последнее обстоятельство невозможно исключить в эпоху техногенеза, так как тяжелые металлы с компонентами дальнего переноса поллютантов также участвуют в формировании их фонового содержания [2, 5, 15]. Таким образом, в самом общем виде валовое фоновое содержание тяжелых металлов определяется физико-химическими особенностями почв (физическая глина, гумус, сумма поглощенных оснований и др.) и влиянием техногенеза [55].

Впервые количественное содержание различных химических элементов в литосфере было определено Ф. Кларком в 1909 году. Их усредненные значения получили название кларковая величина, или кларк [2]. Среднее содержание элемента в земной коре, выраженное в процентах (кларки), является абсолютным эталоном для сравнения с ним содержания химических элементов в различных горных породах, рудах, почвах, конкрециях, водах, живом веществе, воздухе [15]. Впоследствии данные Ф. Кларка были уточнены другими исследователями. В.Б. Ильин [2] приводит данные о среднем содержании тяжелых металлов в почвообразующих породах некоторых регионов бывшего СССР. В настоящее время накоплен богатый фактический материал по фоновому содержанию тяжелых металлов в незагрязненных почвах.

Обнаружены существенные различия в естественном содержании тяжелых металлов в региональных почвах. Установлено также, что даже в почвах одного региона содержание тяжелых металлов может варьировать на 2-3 порядка, локально превышая ПДК в 5-10 раз [75]. Весьма различаются фоновые значения содержания тяжелых металлов в разных регионах земного шара [2, 13, 76, 77, 78, 79, 80]. Обобщение данных о концентрациях тяжелых металлов в почвах стран Западной Европы - Австрии, Бельгии, Финляндии, Германии, Нидерландов, Испании, Франции - подтверждает это [81].

Сказанное выше относится к валовому содержанию тяжелых металлов в почвах. Биогеохимическими и экологическими исследованиями показано, что для биоты большей значимостью обладает не весь почвенный фонд тяжелых металлов, а содержание их подвижных форм (водорастворимые, кислоторастворимые и др.) [2, 82, 83, 84]. Литературных данных о подвижных формах тяжелых металлов в почвах достаточно много, но они еще менее сравнимы, чем данные о их валовом содержании [2, 5, 71, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92].

Сложности с определением подвижных форм тяжелых металлов и получением сравнимых данных связаны с рядом причин: в почве одновременно присутствуют несколько форм тяжелых металлов, различающихся своей подвижностью и, по-видимому, доступностью для растений; содержание в почве подвижных тяжелых металлов динамично в течение вегетации; отсутствует универсальный экстрагент, пригодный для извлечения доступной для растений формы всех тяжелых металлов [2, 13, 71, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 98].

Установлено, что количественное содержание подвижных форм тяжелых метал-

лов в почве зависит от механического состава, гумусированности, реакции почвенной среды, характера фитоценоза и др. [39, 55]. Динамичность данного показателя во времени связывают с деятельностью микроорганизмов и меняющейся интенсивностью поглощения тяжелых металлов растениями [2, 98, 99]. Отмечена значительная пространственная динамика в содержании подвижных форм тяжелых металлов, связанная с рельефом и другими особенностями ландшафтов [82, 88, 100, 101]. Установлено, что снижение рН приводит к возрастанию растворимости и, следовательно, подвижности потенциально токсичных элементов [2, 30, 67, 102, 103, 104].

Многочисленными исследованиями показана высокая вариабельность фонового содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в зависимости от типоморфных характеристик почв [2, 6, 28, 105, 106, 107]. В сводке Д. Адриано [81] представлены обобщенные данные о среднем содержании тяжелых металлов в главных группах почв (по Классификации ФАО/ЮНЕСКО) Польши, Болгарии, бывшей Чехословакии, Румынии, Белоруссии, Украины, России. Отмечается значительная вариабельность содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвенном профиле [2, 6, 108].

Как уже отмечалось, фоновое содержание тяжелых металлов в почвах складывается из привнесения их от природных (естественный фон) и техногенных источников. Тяжелые металлы техногенной природы попадают на поверхность почвы, и дальнейшая их судьба зависит от ее химических и физических свойств. Установлено, что загрязнение почв тяжелыми металлами практически вечно [13], так как они медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии, дефляции. Первый период полуудаления тяжелых металлов варьируется: для Zn - от 70 до 510 лет; для Cd - от 13 до 1100 лет; для Cu - от 310 до 1500 лет и для Pb - от 740 до 5900 лет [109]. Существуют особенности в характере накопления, радиального и латерального распределения тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов [110], при этом проявляется их негативное воздействие на свойства почвы и почвенную биоту [2, 13, 29, 47, 111, 112, 113, 114]. Показано, что качественные и количественные характеристики техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами имеют свою специфику, зависят от источника загрязнения и расстояния до него [2, 23, 26, 67, 75, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123]. Установлено, что распределение тяжелых металлов в техногенно измененных почвах не подчиняется нормальному закону [5, 124]. Многие авторы отмечают аккумуляцию тяжелых металлов техногенного происхождения в самом верхнем слое почвы [25, 26, 28, 67, 125]. Увеличение валового содержания тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах сопровождается возрастанием количества подвижных форм данных элементов, что повышает их опасность для растений и биоты [2, 116, 126]. Количественные характеристики возможного содержания тяжелых металлов в загрязненных почвах даны в работах А.Б. Ахундовой [23] и К. Рэце, С. Кырстя [127].

Определенный уровень содержания тяжелых металлов и характер их распределения в почвенном покрове в значительной мере определяются процессами миграции и аккумуляции [65, 128, 129]. Характер и форма миграции тяжелых металлов определяются как внутренними, так и внешними факторами. К внутренним факторам относятся свойства элементов (в том числе ионная масса и ионный радиус), их реакционная способность, характер образуемых химических соединений. Внешние факторы - это условия, в которых происходит миграция элементов: температура, влажность, величина рН, величина ионного потенциала, наличие органического вещества, минеральные спутники [11, 15].

Многими исследователями отмечается разнообразие форм миграции тяжелых ме-

таллов в почве, но наиболее широко распространены представления, относящиеся к водно-ионным растворам [81]. Отечественная геохимия ландшафта также базируется на учете миграции элементов исключительно только в форме простых ионов [130]. В самом общем виде разнообразные процессы водной миграции тяжелых металлов можно систематизировать по трем группам: массоперенос, массообмен и смешение. На участках с техногенными источниками загрязнения среды тяжелыми металлами одновременно проявляются все три типа названных процессов; на участках, где техногенные источники отсутствуют, преобладают процессы массопереноса и массообмена [11].

В целом охарактеризованные выше типы миграции тяжелых металлов свойственны для естественных процессов. Роль техногенной миграции постоянно возрастает и заслуживает особого внимания, так как в техногенно загрязненных почвах и ландшафтах наблюдаются определенные особенности в накоплении, латеральном и радиальном перераспределении тяжелых металлов [5, 110]. Формы миграции тяжелых металлов изучены пока недостаточно, но исследования последних лет показали близость между миграционными процессами естественного и техногенного происхождения [11]. Показано, что антропогенный фактор определяет соотношение между основными типами миграции химических элементов в биосфере [5].

Аккумуляция тяжелых металлов в почвенном покрове связана с процессами сорбции и адсорбции их из водных растворов породами [11]. При рассмотрении вопросов, связанных с миграцией и аккумуляцией тяжелых металлов в почвенном покрове, вводится понятие "геохимический барьер". Этим термином А.И.Перельман [131] предложил обозначать такие места в земной коре, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, - их концентрация (аккумуляция). Геохимические барьеры характерны для ландшафтов, почв и биосферы в целом. Они часто приурочены к границам горизонтов почв и коры выветривания, возникают при субвертикальном (сверху вниз и снизу вверх) движении растворов (радиальные барьеры), а также - к границам между разностями почв при боковой миграции веществ (латеральные барьеры) [132].

Накопление тяжелых металлов в верхних гумусовых горизонтах или их вымывание в более глубокие горизонты (вертикальная или радиальная миграция) контролируются характером и положением в почвенном профиле разных геохимических барьеров [129]. В зависимости от способа массопереноса различают инфильтрационные и диффузионные барьеры. Первые характерны для элювиальных почв, вторые формируются в застойных водах (болотах). Концентрирование химических элементов на геохимических барьерах связано с окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной зональностью и, как следствие, с зональным типом почв. Именно поэтому для почв разных природно-климатических зон характерны разные геохимические барьеры либо их определенное сочетание [132].

Геохимические барьеры делят на природные и техногенные [5, 132]. Те и другие могут быть механическими, биогеохимическими, физическими [131]. Более подробная классификация геохимических барьеров дана А.И. Перельманом [131] и расширена М.А. Глазовской [65, 129]. Отмечается возможность формирования комплексных геохимических барьеров в зависимости от почвенно-экологических условий [132]. На сочетании групп различных геохимических барьеров чаще всего возникают месторождения полезных ископаемых, различные геохимические аномалии, в том числе и техногенные [5, 132].

Представление о важном значении геохимических барьеров для понимания процессов миграции и формирования аккумуляций химических элементов в почвах и

почвообразующих породах было положено М.А.Глазовской [65, 133] в основу концепции ландшафтно-геохимических процессов, в том числе и в условиях техногенеза. Показано, что характер распределения продуктов техногенеза по поверхности почвы зависит не только от геохимических факторов, но и ряда топографических и метеорологических особенностей источников загрязнения [128, 134, 135]. В процессе рассеивания выбросов большую роль играют метеорологические условия (ветер, влажность, осадки). На распределение продуктов техногенеза по земной поверхности существенно влияют макро- и мезорельеф, характер растительности и зональные особенности почв [2, 5, 136].

Сами по себе продукты техногенеза значительно изменяют свойства почв и таким образом влияют на миграцию элементов. Изменяется рН почвенной среды, разрушается почвенно-поглощающий комплекс и др. [2, 137, 138]. При этом изменяются физические свойства почв, угнетается растительность, что приводит к усилению делювиального процесса и почвенной эрозии [139]. Загрязненная почва теряет четкую структуру, уменьшается ее общая порозность, снижается водопроницаемость, резко ухудшается водно-воздушный режим почвы [140, 141]. В отдельных случаях под влиянием многолетнего загрязнения атмосферными выбросами верхний слой почвы представляет собой смесь ее с пылеватыми частицами аэрозолей, золы, шлака [115]. Л.Н. Серебренникова с соавторами [110] показали, что валовое распределение тяжелых металлов в сероземах техногенных ландшафтов приобретает ярко выраженный регрессивно-аккумулятивный характер, не свойственный естественным сероземам. Отмечается также, что производственная деятельность человека в некоторых регионах привела к значительному загрязнению почв макро- и микроэлементами вплоть до образования геохимических аномалий и целых провинций [39, 55, 138, 142].

Таким образом, в результате сложной геохимической истории континентов их поверхность и почвенный покров приобретают специфические геохимические черты. .. Возникают . геохимические . провинции, . области, . аномалии, характеризующиеся . определенным . составом . мигрирующих . соединений, . условиями реакции . среды . и . окислительно-восстановительного режима, накоплением или выносом тяжелых металлов [15].

Характеристики крупных биогеохимических зон и провинций суши даны в работах А.П. Виноградова [143], В.В. Ковальского [144], М.А. Глазовской [133, 145] , А.И. Перельмана [131, 146] и других отечественных исследователей. Экологические аспекты нашли наиболее полное отражение в учении о биогеохимических провинциях и геохимической экологии, сформулированном А.П. Виноградовым [143, 147] и В.В. Ковальским [148, 149, 150, 151].

Необходимость биогеохимического районирования континентов является следствием биогеохимической гетерогенности биосферы, которая как область обитания и жизнедеятельности организмов проявляет свое единство в глобальных и локальных биогеохимических циклах химических элементов, слагающих геохимические циклы [152]. Установлено, что именно биогеохимические циклы и в целом процессы массопереноса вещества и трансформации энергии обеспечивают относительную временную стабильность биосферы [153].

В тесной связи с направлением эколого-биогеохимического районирования территории земного шара успешно развивается ландшафтно-геохимическое направление [20, 131, 133, 145, 146]. Основные положения геохимии ландшафтов были сформулированы Б.Б. Польшовым [154] на основании изучения процессов выветривания земной коры и формирования почв. Им же введено понятие элементарного ландшафта [154], который представляет собой один определенный тип рельефа, сложенный

одной породой или наносом и покрытый в каждый момент своего существования определенным растительным сообществом.

Геохимический ландшафт складывается из совокупности элементарных ландшафтов. По А.И. Перельману [131, 146], геохимический ландшафт - это парагенетическая ассоциация сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов. Геохимию ландшафтов рассматривают как науку о закономерностях миграции, рассеяния и концентрации элементов в ландшафтах (почвах, почвообразующих породах, растениях, водах и др.) [149, 151, 153, 155, 156]. На практике наиболее оптимально сочетание методологии ландшафтной геохимии и классических эколого-биогеохимических исследований, так как только при таком подходе оказывается возможным оценить природно-техногенные процессы миграции и аккумуляции различных химических элементов и их соединений в почвах и других компонентах ландшафта [153, 157].

В геохимии ландшафта выделяются два вида наименьших операционных территориальных единиц. Первый - это элементарные ландшафты, при изучении которых основное внимание уделяется радиальным потокам вещества и связям в подсистемах почва - растение, почва - порода, растение - почва - грунтовые воды и др. (геохимические ландшафты). Второй - это ряды или цепочки элементарных ландшафтов, связанных между собой латеральной миграцией вещества и располагающихся на различных гипсометрических уровнях рельефа (геохимическое сопряжение) [132]. Классификация геохимических ландшафтов была предложена Б.Б. Польшовым [154] и затем дополнена М.А. Глазовской [133] и А.И. Перельманом [131]. Последний предпринял попытку ландшафтно-геохимического районирования территории бывшего СССР с указанием ландшафтно-геохимических провинций на основе особенностей миграции химических элементов в среде, разбив их на классы и типы [158].

Принципы ландшафтно-геохимического районирования, предложенные А.И. Перельманом [131, 146] и М.А. Глазовской [133] получили общее признание отечественных ученых. В настоящее время в соответствии с ними уже выделен ряд технобиогеохимических и агрогеохимических провинций, характеризующихся избыточным или недостаточным содержанием тех или иных химических элементов [128, 159, 160], причем более разработанными оказались подходы к районированию техноиндустриальных изменений, связанных с избыточным поступлением тяжелых металлов в природные ландшафты [5, 161].

Неотъемлемой частью природных и антропогенных ландшафтов и важнейшим звеном биогеохимического круговорота веществ являются растения. Анализ литературных данных показал, что химический состав растений изучен достаточно хорошо. Установлена способность растений поглощать из окружающей среды в больших или меньших количествах практически все известные химические элементы [162, 163, 164]. Одни авторы считают, что так или иначе все они участвуют в жизненных процессах [2, 165]. Другие указывают на то, что для нормальной жизнедеятельности растений необходимы лишь определенные группы элементов, функции которых незаменимы [13, 162, 163]. К ним относят С, Н, О, N, P, S, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, B, Na, Si, Co и некоторые другие элементы, в том числе и тяжелые металлы - микро- и макроэлементы [2, 3, 4, 7, 162, 163, 166, 167].

На разных этапах эволюции сопряженно с изменениями в составе биосферы изменялась металлопоглощающая способность растений, поэтому возникшие в разное время типы растительных организмов характеризуются разным содержанием тяжелых металлов [7, 162, 168]. В.И.Вернадский (1926, 1931) и А.П.Виноградов (1937,

1952, 1965) высказывали предположение о том, что элементный химический состав растений можно рассматривать как видовой признак (цит. по В.Б. Ильину [2]).

Работы многих исследователей показали, что между химическим составом растений и элементным составом среды существует несомненная связь [13, 59, 162, 169, 170], но прямая зависимость в содержании тяжелых металлов в растениях от содержания в почве часто нарушается из-за избирательной способности растений к накоплению элементов в необходимом количестве [2]. Чаще наблюдают прямую корреляционную зависимость содержания тяжелых металлов в растениях от содержания их подвижных форм в почвенном растворе [171]. По-видимому, существуют два ведущих фактора формирования элементного состава растений - генетический и экологический. Их долевое участие меняется в зависимости от изменения условий среды. Экологический фактор становится ведущим при техногенном загрязнении среды обитания тяжелыми металлами, особенно их подвижными формами [2, 162].

Установлено, что растения более устойчивы к повышенным, нежели к пониженным концентрациям тяжелых металлов в почве [13], но увеличение их до определенных значений практически всегда отрицательно сказывается на состоянии растений, так как тяжелые металлы являются наиболее токсичными среди химических элементов [3, 5]. Все же правильнее говорить не о токсичных элементах, а о токсичных концентрациях для растений [2]. Влияние избытка тяжелых металлов на растения может быть как прямым, так и косвенным. Косвенное влияние проявляется в негативном воздействии тяжелых металлов на состав и свойства почвы и на ее плодородие [112, 172]. Соотношение различных групп и форм тяжелых металлов в почве также определяет уровень их токсичности [86]. Прямое влияние тяжелых металлов связано с накоплением их непосредственно в растении [173], проявление его многообразно и описано многими исследователями [13, 24, 55, 69, 174, 175, 176, 177].

Бесспорно, что среди живых организмов главными аккумуляторами тяжелых металлов являются растения, поэтому необходимо иметь объективное представление о нормальных (фоновых) концентрациях данных элементов в компонентах растительного мира. Высказывается мнение, что низкоорганизованные растения (мхи, лишайники) обнаруживают особенно высокую степень адаптации к токсичным концентрациям некоторых элементов, которые накапливаются в их биомассе в гораздо больших количествах, чем в биомассе покрытосеменных [13, 174]. По мнению некоторых исследователей, наибольшей металлоаккумулирующей способностью обладают лишайники [78, 178, 179]. По способности связывать тяжелые металлы высшие растения можно расположить в следующий ряд: Bryophyta > Pteridophyta > Spermatophyta [180].

Многочисленными экспериментами показано наличие у растений способности защищаться от вредного влияния тяжелых металлов [2]. Различные механизмы такой защиты описаны разными авторами [2, 13, 51, 163, 173, 180, 181, 182, 183, 184]. Оценка токсичных концентраций и действия тяжелых металлов очень сложны, так как зависят от многих факторов. Большинство авторов считают наиболее токсичными Hg, Cd, Cu, Ni, Co, Pb [13, 185, 186]. По литературным данным, большой ряд токсичности тяжелых металлов можно представить следующим образом: Cd > Cu > Co = Ni > As = Cr > Zn > Mn = Fe > Pb.

Пути поступления тяжелых металлов в растения разнообразны, основные из них - корневое и фолитарное [13, 187, 188, 189]. Сведения о распределении тяжелых металлов по органам растений весьма противоречивы [2, 59, 190]. Одни авторы указывают на большую аккумуляцию их в надземных органах [169, 170], другие - в корнях

[188, 191]. Часто отмечают различия концентраций тяжелых металлов в разных надземных органах (листьях, стеблях, плодах), что может быть связано с видоспецифичностью метаболизма растений и со свойствами самих элементов [59, 191, 192, 193, 194]. А.Л. Ковалевский [169] приводит классификацию Д.А. Сабина, по которой химические элементы подразделяются на 2 группы: базипетальные (содержание их уменьшается от листьев к стеблям и корням) и акропетальные (максимальное содержание их наблюдается в корнях и стеблях, минимальное - в листьях). Характер распределения элементов по органам и тканям изменяется в течение онтогенеза [169, 195]. Установлено, что на незагрязненных почвах наименьшее количество тяжелых металлов свойственно органам запаса [2]. Многие авторы указывают на неоднозначную зависимость между доступностью тяжелых металлов для растений и их содержанием в разных частях растений [196, 197, 198].

Изучение накопления тяжелых металлов в растениях важно как для оценки состояния самого растения, так и для биосферы в целом в плане понимания процессов круговорота веществ, а также для научной и практической работы по экологическому мониторингу в связи с углублением процессов техногенеза [2, 5, 21, 174]. За норму содержания тяжелых металлов приняты пределы их концентраций, способствующие осуществлению нормальной регуляции функций у растений [199]. Опубликованные материалы разных исследователей о нормальных (средних, фоновых) концентрациях химических элементов в биомассе растений и их органах позволяют ориентироваться в оценке норм содержания отдельных элементов [2, 13, 22, 200, 201, 202, 203, 204, 205].

Пределы нормальных концентраций элементов, указанные разными авторами, не совпадают. Причины этого связаны с видоспецифичностью металлоаккумуляции, погрешностями пробоотбора, подготовки образцов к элементному анализу, аналитических методик и, в немалой степени, - с целями исследований [5]. Установлено, что фоновое (нормальное) содержание тяжелых металлов значительно колеблется у разных таксономических групп растений и в их отдельных органах, зависит от условий произрастания и фазы развития [1, 2, 22, 59, 162, 174, 204, 205, 206, 207].

Многочисленными исследованиями показано, что диапазон нормальных концентраций будет менее широким у элементов, легко проникающих в метаболически важные центры растений [2]. По абсолютному содержанию в растениях тяжелые металлы подразделяют на 4 группы: элементы повышенной концентрации (Sr, Mn, Zn); элементы средней концентрации (Cu, Ni, Pb, Cr); элементы низкой концентрации (Mo, Cd, Se, Co); элементы очень низкой концентрации (Hg), а уровень содержания большинства тяжелых металлов в растениях зависит от их кларка [2].

Экстенсивный характер развития современного производства привел к нарушениям экологической обстановки в природных экосистемах. В настоящее время и в обозримом будущем не представляется возможным полностью нейтрализовать негативную роль человека в биосфере, поэтому на первый план выдвигается научное обоснование допустимых пределов антропогенного воздействия на природные комплексы и их отдельные элементы [2, 153, 208].

До последнего времени нормирование загрязняющих веществ в природных экосистемах базируется на санитарно-гигиенических принципах и нормах и приоритетности защиты человека. Ограниченность антропоцентрической направленности экологического нормирования давно обсуждается, поэтому в последнее время наметились определенные пути разрешения возникающих противоречий. В этой связи большой интерес представляют комплексные подходы к экологическому нормированию, в основу которых положены природная биогеохимическая организованность

экосистем, рассматриваемая с физиологических и ландшафтно-биогеохимических позиций [153].

Нормирование содержания тяжелых металлов в почвах и растениях является важным разделом мониторинга окружающей среды, испытывающей техногенное воздействие. Для почв оно исходит из многообразия их функций (почва - природное тело, объект и средство производства, среда обитания), для растений - учитывает агрономический (урожай) и санитарно-гигиенический (качество урожая) аспекты в производстве растительной продукции [1, 2]. Исследования разных авторов показали определенную корреляцию содержания тяжелых металлов в почвах и растениях, поэтому считается целесообразным в первую очередь осуществлять нормирование тяжелых металлов именно в почве. Оно предусматривает установление их предельно допустимых концентраций (ПДК) и фоновых количеств. Под ПДК следует понимать такую концентрацию тяжелых металлов, которая при длительном действии на почву не вызывает каких-либо патологических изменений или аномалий в ходе биологических процессов, а также не приводит к накоплению токсических элементов в растениях и, следовательно, не может нарушить биологический оптимум для животных и человека [1, 2].

Чаще всего нормирование преследует три цели: агрономическую, санитарно-гигиеническую и почвенно-экологическую [21, 209]. Гигиенисты предлагают оценивать ПДК, исходя из 4 показателей вредности: транслокационного (переход тяжелых металлов из почвы в растения через корни), миграционного водного, миграционного воздушного и общесанитарного [210]. Многие авторы отмечают, что современное положение с нормированием тяжелых металлов в почвах нельзя назвать удовлетворительным из-за недостаточной разработанности их принципов и, как следствие этого, слабой обоснованности рекомендованных нормативов [2, 211]. Очевидно, поэтому ПДК тяжелых металлов для почв, разработанные в разных странах, значительно отличаются [1, 79, 127, 212, 213, 214]. Некоторые из существующих нормативов по содержанию тяжелых металлов в почвах представлены в справочных материалах [215]. Нормативы для подвижных форм тяжелых металлов менее всего разработаны [2].

Отмечается, что ПДК тяжелых металлов в почвах в нашей стране и других странах рассматриваются специалистами как непостоянные относительные величины, зависящие от почвенно-экологических условий конкретного региона [1, 27, 209]. Нормативы по фоновым (нормальным) и предельно допустимым концентрациям тяжелых металлов в растениях разработаны гораздо слабее [2]. Исследователи часто используют для сравнительного анализа так называемые "критические количества" и "фитотоксичные содержания" [201, 216, 217], из которых наиболее близки к понятию ПДК первые.

В заключение следует отметить, что обобщение литературных данных, а также прошедший в октябре 1996 года международный симпозиум "Тяжелые металлы в окружающей среде" [218] свидетельствуют об активном и многоаспектном развитии биогеохимии тяжелых металлов как в России, так и за рубежом. Большое внимание уделяется изучению функционального значения тяжелых металлов для биоты, хотя полнота раскрытия биологической роли конкретных элементов недостаточна. Опубликовано большое количество работ по изучению геохимических свойств тяжелых металлов, аккумуляции и миграции их в почвах. Но многие аспекты рассматриваемых проблем находятся на стадии изучения. Большое значение придается биогеохимическому районированию территорий на основе ландшафтного подхода, в то же время его основные положения сформулированы только на уровне концепций.

Техногенное привнесение тяжелых металлов в окружающую среду является самостоятельной научной проблемой. В связи с этим в литературе широко обсуждаются вопросы экологического нормирования содержания тяжелых металлов в различных компонентах экосистем и, прежде всего, в воде, воздухе, почвах и растениях. Анализ литературы показал, что в разных странах нет единого подхода к разработке нормативных показателей содержания тяжелых металлов, а существующие нормативы (ПДК, токсичные концентрации и др.) субъективны, слабо обоснованы, часто не отражают действительной роли конкретных элементов в динамичных условиях экосистем. Пристальное внимание исследователей приковано к техногенным источникам тяжелых металлов, которые достаточно полно изучены, но среди них постоянно появляются новые объекты исследований. Исследователями широко обсуждаются различные методические проблемы количественного изучения содержания тяжелых металлов в компонентах экосистем. К настоящему времени установлены фоновые уровни содержания тяжелых металлов в почвенном покрове и в растениях некоторых конкретных регионов (Западная Сибирь, Московская область, Воронежская область, Украина, Молдавия, страны восточной и западной Европы, лесостепное и степное Поволжье и др.), но биогеохимические процессы, протекающие на фоне техногенеза в различных регионах России, изучены неравноценно.

Литература

- [1] Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987.
- [2] Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991.
- [3] Абуталыбов М.Т. Значение микроэлементов в растениеводстве. Баку: Кн. изд-во, 1961.
- [4] Власюк П.А. Микроэлементы и радиоактивные изотопы в питании растений. Киев: Изд-во АН УССР, 1956.
- [5] Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Наука, 1990.
- [6] Протасова Н.А., Щербакова А.П., Копаева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. Воронеж.: Изд-во Воронежского ун-та, 1992.
- [7] Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974.
- [8] Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. 7. С.555-571.
- [9] Pettersson S. Mikron(rings(mnena ur v(xtfysiologisk synpunkt upptagning, funktion och samspel // Kgl. skogs-och lantbruksakad. tidskr. 1984. Vol.123. 16. P.7-20.
- [10] Wood J.M. Biological cycles for toxic elements in the environment // Science. 1974. Vol.183. P.1049-1059.
- [11] Богдановский Г.А. Химическая экология. М.:Изд-во МГУ, 1994.
- [12] Стебаев И.В., Пивоварова Ж.Ф., Смоляков Б.С., Неделькина С.В. Общая биогеосистемная экология. Новосибирск: Наука, 1993.
- [13] Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989.
- [14] Bheemalingeswara K. Geochemical exploration data: utility in environmental studies // Rapp. och medd. 1991. 69. P.123-125.
- [15] Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985.

- [16] Аммосова Я.М., Орлов Д.С., Садовникова Л.К. Охрана почв от химических загрязнений. М.: Изд-во МГУ, 1989.
- [17] Герасимовский В.И. Геохимия Илимауссакского щелочного массива (юго-западная Гренландия). М.: Наука, 1969.
- [18] Beeson K.C., Martone G. The soil factor in nutrition animal and human // New York, Basel, 1976.
- [19] Лупинович И.С., Дубиковский Г.П. Микроэлементы в почвах БССР и эффективность микроудобрений. Минск: Изд-во БГУ, 1970.
- [20] Ландшафтно-геохимические основы фоновоего мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989.
- [21] Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды и пути их решения. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
- [22] Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980.
- [23] Ахундова А.Б. Тяжелые металлы в почвах зоны техногенных выбросов промышленного объекта г. Али-Байрамлы // Тез. докл. 8 Всес. съезда почвоведов. Кн. 2. Комис. 2-3. 14-18 авг. 1989, Новосибирск. Новосибирск, 1989. С.159.
- [24] Бондарев Л.Т. Ландшафты, металлы и человек. М.:Мысль, 1976.
- [25] Кикнавелидзе Т.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами вокруг промышленных предприятий Восточной Грузии // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Матер. 2 Всес. конф. Ч.1. 28-30 дек. 1987, Москва. М., 1988. С.92-96.
- [26] Кривоносова Г.М., Джамиль В.А., Головина Л.П., Лысенко М.Н. Техногенное загрязнение почв Донбасса выбросами предприятий черной и цветной металлургии // Агрэкологическая обстановка на сельскохозяйственных угодьях УССР и пути снижения загрязнения токсическими веществами. Черкассы, 1989. С.38-39.
- [27] Обухов А.И., Ефремова Л.Л. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Матер.2 Всес.конф. Ч.1. 28-30 дек. 1987, Москва. М., 1988. С.23-26.
- [28] Урушадзе Т.Ф., Кикнавелидзе Т.А., Кучаидзе Н.П. Почвенно-экологические особенности распределения тяжелых металлов в антропогенных ландшафтах Восточной Грузии // Преобраз. горн. среды: регион. развитие конф. 1-5 окт. 1989, Цахкадзор. Ереван, 1989. С.109-111.
- [29] Цемко В.П., Паламарчук И.К., Залуцкая Г.М. Процессы рассеяния микроэлементов в почвах // Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С.31-34.
- [30] Kozel P., Holoubek I., Pavlov Z., Menik P. Koncentrace t((k(ch kovuvpud(ch n(kter(ch lokalit Jablunkovska // Acta Univ. palack. olomuc. fac. rerum natur. biol. 1988. T.93. 28. S.59-77.
- [31] Schumann L.M., Haase H.H. Untersuchungen zur Bleibelastung von B(den eines idustriellen Ballungsraumes // Wiss. Beitr. M.-Luter-Univ., Halle-Wittenberg. 1988. 34. S.123.
- [32] Tam N.F.Y., Wong Y.S., Wong M.H. Heavy metal contamination by Al-fabrication plants in Hong Kong // Environ Int. 1988. Vol.14. 6. P.485-494.
- [33] Глазовская М.А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С.7-41.

- [34] Зайцев В.А., Макаров С.В. Вклад промышленных загрязнений в круговорот химических элементов в биосфере. Масштабы и перспективы // Биологический круговорот и процессы почвообразования. Пущино, 1984. С.165-172.
- [35] Кирпатовский И.П. Охрана природы: Справочник. М.: Химия, 1974.
- [36] Lantry R.S., Mackensie F.T. Atmosphere trace metals: global-cycles and assessment of man's impact // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1979. Vol.43. P.511-525.
- [37] Lisk D.J. Trace metals in soils, plant and animals // *Adv. Agron.* 1972. Vol.24. P.267-325.
- [38] Valerio F., Brescianini C., Lastraioli S. Airborne metals in urban areas // *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 1989. Vol.35. 2. P.101-110.
- [39] Большаков В.А., Гальпер Н.Я., Клименко Г.А., Лычкина Т.И. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. М.: Гидрометеиздат, 1978.
- [40] Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Клименко Г.А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами. М.: Изд-во МГУ, 1989.
- [41] Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г.Зырина. М.: Изд-во МГУ, 1985.
- [42] Cesmebasi E., Magee R.S., Scafai N.A. Metal emissions from municipal solid waste (MSW) incinerators // *Particul. Sci. and Technol.* 1988. Vol.6. 4. P.365-380.
- [43] Матвеев Н.М., Прохорова Н.В., Кавеленова Л.М., Соболева Е.И., Родионова И.В. Изучение влияния неорганического шлама металлообрабатывающего производства на рост и развитие цветочно-декоративных однолетников // *Интродукция, акклиматизация, охрана и использование растений.* Куйбышев, 1985. С.116-120.
- [44] Матвеев Н.М., Прохорова Н.В., Кавеленова Л.М., Горяинова Л.В. Влияние минерального промышленного шлама на рост и развитие растений в условиях водной культуры // *Интродукция, акклиматизация, охрана и использование растений.* Куйбышев, 1988. С.171-176.
- [45] Прохорова Н.В., Солодовникова Л.П. Влияние загрязнения окружающей среды на ассимиляционные органы некоторых древесных растений в Степном Заволжье // *Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы.* Куйбышев, 1989. С.33-38.
- [46] Бериня Д.Ж., Берзиня А.Я., Калвиня Л.К., Шарковский П.А. Диагностика загрязненности биогеоценозов выбросами автотранспорта // *Бюл. / Почв. инт им. В.В. Докучаева.* 1993. Вып. 35. С. 41-45.
- [47] Влияние химизации земледелия на содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / *Сб. науч. тр. М., 1988.*
- [48] Иванова А.С. Медь в почвах садовых агроценозов Крыма // *Агрохимия.* 1987. 10. С.76-82.
- [49] Карпова Е.А., Потатуева Ю.А. Кадмий в почвах, растениях, удобрениях // *Химизация сельского хозяйства.* 1990. 2. С.44-47.
- [50] Сериков В.Н. Тяжелые металлы в почвах полеводческих ландшафтов Ростовской области и Краснодарского края // *Экол.: Опыт. Пробл. Поиск. / Академия естеств.наук РСФСР. Секц.наук о земле.* Новороссийск, 1991. С. 108-113.
- [51] Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in plants // *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 1978. Vol.29. 4. P.511-566.

- [52] Альтшулер И.И., Ермаков Ю.П. Загрязнение атмосферы Земли // Актуальные проблемы изменения природной среды за рубежом. М.: Изд-во МГУ, 1976. С.19-42.
- [53] Назаров А.Г. Современная миграция тяжелых металлов в биосфере. М.: ВНИЦентр. 1980.
- [54] Адамс М.М., Колпакова Е.С., Лулоф И., Рутteman Й., Шпотова Т.В. Волга: Независимые исследования. Общественный Российско-Голландский проект "Волга". Нижний Новгород. 1994.
- [55] Микроэлементы в окружающей среде / Под ред. П.А.Власюка. Киев: Наукова думка, 1980.
- [56] Левин С.В., Гузев В.С., Асеева И.В. Тяжелые металлы как фактор антропогенного воздействия на почвенную микробиоту // Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. С.5-14.
- [57] Касимов Н.С., Самонова О.А., Асеева Е.Н. Фоновая почвенно-геохимическая структура лесостепи Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1992. 8. С.5-21.
- [58] Аналитический обзор загрязнения природной среды тяжелыми металлами в фоновых районах стран - членов СЭВ (1982-1988). М.: Гидрометеиздат, 1987.
- [59] Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983.
- [60] Зборищук Ю.Н., Зырин Н.Г. Среднее содержание В, Mn, Co, Cu, Zn, Mo и I в почвах европейской части СССР // Агрохимия. 3, 1974. С. 88-94.
- [61] Bowen H.J.M. Environmental chemistry of the elements. New York: Academic Press, 1979. 333 p.
- [62] Добровольский В.В. Геохимия микроэлементов в почве и биосфере // Почвоведение. 1984. 12. С.68-78.
- [63] Касимов Н.С. Геохимия степных и пустынных ландшафтов. М.: Издательство МГУ, 1988.
- [64] Мотузова Н.П. Принципы и методы почвенно-химического мониторинга. М.: Изд-во МГУ, 1988.
- [65] Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988.
- [66] Ниязов А.Х., Мамедов А.С., Гасанов С.Г., Мамедов А.П. Содержание и характер распределения свинца и ртути в некоторых почвенных типах Малого Кавказа Азербайджанской ССР // Матер. респ. почвен.- агрохим. совещ. 29-31 мая 1990, Баку. Баку, 1990. С.222.
- [67] Dumontet S., Levesque M., Mathur S.P. Limited downward migration of pollutant metals (Cu, Zn, Ni, and Pb) in acidis virginpeat soils near asmelter // Water. Air. and Soil Pollut. 1990. Vol.49. 3-4. P.329-342.
- [68] Гайдаш Ю.К., Кораблева А.И., Овдиенко Л.А., Сыроватко В.А., Антоненко Т.М. Распределение тяжелых металлов в почвах лесных и агробиопенезов // Тяж.мет.в окрж.среде и охрана природы: Матер. 2 Всес. конф. Ч.1. 28-30 дек. 1987, Москва. М., 1988. С.76-78.
- [69] Ильин В.Б. Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири // Почвоведение. 1987. 11. С.87-94.
- [70] Трубецкой О.А., Золотарева Б.Н., Странд В., Хайнос М., Холиш Л. Влияние тяжелых металлов на величину электрокинетического потенциала илистой фракции серой лесной почвы // Агрохимия. 1992. 1. С.80-83.

- [71] Попович Л.П. Экологические проблемы почвоведения // Осн. направления получ.экол.чист.продукции растениевод.: Тез. докл. Респ. науч.-производств. конф. 13-15 апр.1992, Горки. Горки, 1992. С.116.
- [72] Benes S., Benesovs J. Geochemie pud vzniklych na metamorfovaných horninách // Sb. VSZ Praze. A. 1992. T.54. S.99-105.
- [73] Shumann L.M. Zinc, manganese and copper in soil fractions // Soil Sci. 1979. Vol.127. 1. P.10-17.
- [74] Ивлев А.М. Биогеохимия. М.: Высшая школа, 1986.
- [75] Обухов А.И., Лепнева О.М., Плеханова И.О., Кутукова Ю.Д., Афолина Е.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях больших городов // Тез. докл.8 Всес.съезда почвоведов. 14-18 авг. 1989, Новосибирск. Новосибирск, 1989. С.164-170.
- [76] Voerman J.A.K., Palsma A.J. Heavy metals of the soils of the Biesbosch, a fresh water tidal area in the southwestern Netherlands // Transact. 14 th Inf. Congr. Soil Sci. Vol.2. Aug., 12-18, 1990. Kyoto. Kyoto, 1990. P.353-354.
- [77] Bowen H.J. M. Trace elements in biochemistry. New York: Academic Press, 1966. 241 p.
- [78] Cannon H.L. Natural toxicants of geologic origin and their availability to man // Environmental quality and food supply. New York: Futuro, 1974. P.143-163.
- [79] Kloke A. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Mitteilungen VDLUFA. 1980. H.2. S.32-38.
- [80] Soon Y.K., Abboud S. Trace elements in agricultural soils of northwestern Alberta // Can. J. Soil Sci. 1990. Vol.70. 3. P.277-288.
- [81] Adriano E.D.C. Biogeochemistry of trace metals. London, Tokyo: Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, 1992. 513 p.
- [82] Алексеева-Попова Н.В., Дроздова И.В., Сазыкина Н.А. Геохимическая экология растений на известняках Юго-Восточной Чукотки // Микроэлементы в биол. и их применение в с.х. и мед.: Тез.докл.11 Всес. конф.
- [83] Цветкова Н.Н., Дубина А.А. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах лесных биогеоценозов степной зоны // Тез.докл. 8 Всес. съезда почвоведов. 14-18 авг. 1989, Новосибирск. Новосибирск, 1989. С. 185.
- [84] Szakman G. Investigations on the trace element geochemical interaction between soil and vegetation: concentration of manganese, zinc, copper and lead in the soil and in *Dactylis glomerata* L. // Stud. bot. hung. 1986. Vol.19. P.53-61.
- [85] Борисочкина Т.И., Кайданова О.В. Эколого-геохимические исследования поведения тяжелых металлов в системе: атмосферные осадки - почва - растительность // Геохимия техногенеза: Тез.докл. 2 Всес.совещ. 1991, Минск. Минск, 1991. С.32-33.
- [86] Варшал Г.М., Велюханов Т.К., Кощеева И.Я., Буачидзе Н.С., Харьков Н.Е., Жуков С.Р., Корсакова Н.В., Старшинова Н.П., Галузинская А.Х., Павлуцкая В.И., Чхетия Д.Н., Кригман Л.В., Бударина Н.В. // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. 1992. 3. С.157-17
- [87] Васильевская В.Д., Шибяева И.Н. Фракционный состав соединений металлов в почвах южнотаежного Заволжья // Почвоведение. 1991. 11. С. 14-23.
- [88] Лучицкая О.А., Волошина О.Н., Башкин В.Н. Особенности пространственной дифференциации подвижных форм микроэлементов в агроландшафтах Южного Подмосквья // Почвы Сред.Поволжья и Урала, теория и практи.их исполъз.и охраны: Тез.докл. 12 конф.почвоведов, агрохимиков и земледелов Сред.Поволжья и Урала. Ч.2. 1991. Казань. Казань: Казан. гос. ун-т, 1991. С.146-148.

- [89] Мосина Л.В., Грачева Н.М., Кузнецов А.В., Перминов Е.Б. Изменение подвижности тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах под влиянием антропогенных воздействий // Влияние химизации земледелия на содержание тяж. мет. в почвах с.-х. угодий и продукции растениеводства. М., 1988. С.23-27.
- [90] Hargitai L. The mobility of toxic heavy metals as effected by the environment protectional capacity of soils // Transact. 14-th Int. Congr. Soil Sci. Vol.2. Aug. 12-18, 1990. Kyoto. Kyoto, 1990. P. 102-107.
- [91] Mutsch F. Waldbodenzustandsinventur uberblick zur schwermetallsituation osterreichischer waldboden // FBVA-Ber. 1991. 49. S.39-48.
- [92] Гармаш Н.Ю. Влияние тяжелых металлов на содержание химических элементов в растениях пшеницы // Химия в сел. хоз-ве. 1987. 3. С. 57-60.
- [93] Алексеева-Попова Н.В., Дроздова И.В. Особенности минерального состава растений и почв на ультраосновных породах Усть-Бельского горного массива (среднее течение реки Анадырь). I. Почвы // Ботан. журн. Т.79. 1994. 7. С.75-84.
- [94] Важенин И.Г. Техногенез и экологические аспекты почвоведения // Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии. Науч. тр. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева М., 1988. С.110-117.
- [95] Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г.Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989.
- [96] Ринькис Г.Я. Методы ускоренного колориметрического определения микроэлементов в биологических объектах. Рига: Изд-во АН Латв.ССР, 1963. 119 с.
- [97] Roca J., Pomares F. Prediction of available heavy metals by six chemical extractants in a sewage sludge-amended soil // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. 1991. Vol.22. 19-20. P.2119-2136.
- [98] Zolotareva B. Main features of trace elements in soil // Transact. 14 th Int. Congr. Soil. Sci. Vol. 2. Aug. 12-18, 1990, Kyoto. Kyoto, 1990. P.394-395.
- [99] Inskeep W.P., Comfort S.D. Thermodynamic predictions for the effects of root exudates on metal speciation in the rhizosphere // J. Plant. Nutr. Vol.9. 3-7. 1986. P.567-586.
- [100] Мотузова Г.В. Уровни и природа варьирования содержаний микроэлементов в почвах лесных биогеоценозов // Пробл.экол.мониторинга и моделир.экосистем. Вып.14. 1992. С.57-68
- [101] Орешкин В.Н., Хахимов Ф.И., Кузьменкова В.С., Курбатская С.С., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Гурьева С.Н. Распределение тяжелых металлов в почвах морфологических структур Убсунурской котловины // Инф.пробл. из-уч.биосферы.Убсунур.котловина - природ. моде ль биосферы. Пушино, 1990. С.260-273.
- [102] Alloway B.J., Morgan H. The behaviour and availability of Cd, Ni and Pb in polluted soils // Contaminated Soil / Proc. 1-st Intern. TNO Conf. on Contaminated Soil. Utrecht. The Netherlands, 1985. Dordrecht, Boston, Lancaster: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. P.101-113.
- [103] Patcs I. Occurrence of heavy metals, toxic elements in the soils in Hungary // New Results Res. Hardly Known Trace Elem. and their Importance Int. Geosphere - Biosphere Programme / Proc. 4-th Int. Symp. July, 1990. Budapest. Budapest, 1990. P. 19-30.
- [104] Rorison J.H. The response of plants to acid soils // Experientia. 1986. Vol.42. 4. P.357-362.

- [105] Горбатов В.С., Обухов А.И. Динамика трансформации малорастворимых соединений цинка, свинца и кадмия в почвах // Почвоведение. 1989. 6. С.129-133.
- [106] Кизильштейн Л.Я., Соборникова И.Г. Влияние промышленного загрязнения на содержание тяжелых металлов в почвах окрестностей г. Новочеркасска. Ростов-на-Дону, 1987. 11 с. Деп. в ВИНТИ 29. окт. 1987, 7622-B87.
- [107] Walopereis M.S., Gascuel-Oudoux C., Baernie G. Soignet G. Spatial variability of heavy metals in soil on a one-hectare scale // Soil Sci. 1988. Vol.146. 2. P.113-118.
- [108] Иванов Г.М., Убугумов Л.Л. Микроэлементы в ландшафтах Юго-Западного Забайкалья // Почвоведение. 1990. 12. С.117-121.
- [109] Iimura R., Ito H., Chino M. Behaviour of contaminant heavy metals in soil-plant system // Proc. Inst. Sem. SEFMIA. Tokyo, 1977. P.357-364.
- [110] Серебренникова Л.Н., Обухова А.И., Решетников С.И., Горбатов В.С. Содержание и распределение тяжелых металлов в почвах техногенных ландшафтов // Почвоведение. 1982. 12. С.71-76.
- [111] Бабаева И.П., Левин С.В., Решетов И.С. Изменение численности микроорганизмов в почвах при загрязнении тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. С.93-94.
- [112] Важенин Н.Г. Диагностика плодородия почв, подверженных техногенному загрязнению // Бюлл. почв. ин-та ВАСХНИЛ. 1987. 40. С.40.
- [113] Ковальский В.В., Летунова С.В. Геохимическая экология микроорганизмов // Тр.Биогеохим.лаб.АН СССР. Т.13. М.: Наука, 1974. С.3-56.
- [114] Weinberg E.D. Microorganisms and minerals. New York: Marsel Dekker, 1977. 492 p.
- [115] Никифорова Е.М. Загрязнение природной среды свинцом от выхлопных газов автотранспорта // Вестник МГУ. Сер.геогр. 1975. 3. С.28-36.
- [116] Обухов А.И., Плеханова И.О., Кутукова Ю.Д., Афонина Е.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях Москвы // Экол. исслед. в Москве и Моск. обл.: Матер. науч.-практ. конф. 6-7 апр. 1989, Москва. М., 1990. С. 148-161.
- [117] Beavington F. Contamination of soil with zinc, copper, lead and cadmium in the Wollongong city area // Austral. J. Soil Research. 1973. Vol.11. 1. P.27-31.
- [118] Davis B.E., White H.M. Trace elements in vegetables grown on soils contaminated by base metal mining // J. Plant. Nutrition. 1981. Vol.3. 1-4. P.387-396.
- [119] Hintze B., Lux W. Schwermetalluntersuchungen in B(den und Pflanzen im Sud(sten Hamburgs // Landwirtschaftliche Forschung. 1982. S.-H.39. S.457-470.
- [120] Greszta J., Braniewski S., Chrzanowska E. Pozion metali ciezkich w glebach i roslinach wokol huty cynku // Mat. III Kraj. Konf. Pulawy.Cr. 2. 1985. S.15-17.
- [121] Fritz D., Pennypacker S.P. Attempts to use satellite to detect vegetative damage and alternation caused by air and soil pollutants // Phytopathology. 1975. Vol.65. 10. P.1056-1060.
- [122] Morishita T., Kishino K., Idaka S. Mercury contamination of soils rice plantana human nair in the vicinity of a mercury mine in Mie Prefecture // Japom. Soil Sci. and Plant Nutrition. 1982. Vol. 28. 4. P. 523-531.
- [123] Tyler G. Heavy metal pollution and soil enzymatic activity // Plant and Soil. 1974. Vol.41. 2. P.303-311.
- [124] Dudka S. Naturalne zawartosci kadmu i cynku w glebach polski i w wybranych roslinach jednolisciennych (Komunikat) // Pam. Pulaw. 1989. 95. S.207-214.

- [125] Lindebner L. Schwermetalle - Weiser f(r die Immissionsbelastung von W(ldern // Osterr. Fortztg. 1989. B.100. 3. S.41-42.
- [126] Ровенская Л.И. Накопление тяжелых металлов в листьях растений и в почве г. Алма-Аты // Пром. ботан.: Состояние и перспективы развития: Тез. докл. Респ. науч. конф. Сент. 1990, Донецк. Киев, 1990. С.143.
- [127] Рэуде К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986.
- [128] Глазовская М.А. Технобиогемы - исходные физико-географические объекты ландшафтно-геохимического прогноза // Вестник МГУ. Сер. географ. 6. 1972. С.30-36.
- [129] Глазовская М.А. Биогеохимическая организованность экологического пространства в природных и антропогенных ландшафтах как критерий их устойчивости // Изв. РАН. Сер. географ. 1992. 5. С.5-12.
- [130] Добровольский В.В. Рец. Успехи биогеохимии рассеянных металлов ("Biogeochemistry of trace metals". Ed. D.C. Adriano. Lewis Publishers. Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1992. 513 p.) // Почвоведение. 1995. 2. С.252-255.
- [131] Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975.
- [132] Касимов Н.С., Перельман А.И. О геохимии почв // Почвоведение. 1992. 2. С.9-26.
- [133] Глазовская М.А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биогеохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С.99-118.
- [134] Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1989.
- [135] Загрязнение почв и сопредельных сред // Тр.ин-та экспериментальной метеорологии. Вып.17 (145). М.: Гидрометеиздат, 1990.
- [136] Никифорова Е.М., Смирнова Р.С. Техногенная миграция свинца в ландшафтах // Там же. 1976. 5. С.59-64.
- [137] Bublinc E. Intoxikation des B(dens in Bereich von magnesit // Acta Inst. forest zvoienensis. 1973. 4. S.41-61.
- [138] Costesen L.M., Hutchinson T.S. The ecological consequences of soil pollution by metallic dust from the sudbary smelters // Environmental progress in science and education. New York, 1972. P.540-545.
- [139] Дончева А.В., Калуцков В.Н. Прогнозирование изменения природы горно-металлургическим производством // Вестник МГУ. Сер. геогр. 1976. 5. С.65-72.
- [140] Илькун Г.М., Мотрук В.В. Накопление и передвижение фтористых соединений в почвах // Растения и промышленная среда. Киев: Наукова думка, 1976. С.82-89.
- [141] Шелюг М.Я. Влияние атмосферных выбросов предприятий черной металлургии и коксохимического производства на санитарное состояние почвы: Автореф. док. дис. Днепропетровск, 1968.
- [142] Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек. М.: Высшая школа, 1980.
- [143] Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // ДАН СССР. 1938. Т.18. 4-5. С.820.
- [144] Ковальский В.В. Новые направления и задачи биологической химии сельскохозяйственных животных в связи с изучением биогеохимических провинций. М.: МСХ СССР, 1957.

- [145] Глазовская М.А. Геохимические основы и методики исследования природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964.
- [146] Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989.
- [147] Виноградов А.П. О генезисе биогеохимических провинций // Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР. 1960. Т.11.
- [148] Ковальский В.В. Некоторые задачи геохимической экологии // Очерки современной геохимии и аналитической химии. М.: Наука, 1972. С. 514-520.
- [149] Ковальский В.В. Геохимическая экология: Очерки. М.: Наука, 1974 а.
- [150] Ковальский В.В. Химическая среда, здоровье, болезни // Теория и методика географических исследований человека. М.: Наука, 1974 б. С.95-111.
- [151] Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. М.: Наука, 1982.
- [152] Ковда В.А. Великий круговорот // Человек и природа. 1976. 10. С. 7-71.
- [153] Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука, 1993.
- [154] Полюнов Б.Б. Учение о ландшафтах // Избр. труды. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 423-434. [bibitem155](#) Виноградов А.П. Технический прогресс и защита биосферы // Вестн. АН СССР. 1973. 9. С. 7-15.
- [155] Ковальский В.В. Системная организованность биогенного цикла химических элементов // Тр.Биогеохим.лаб.АН СССР. Т.19. М.: Наука, 1981. С.189-202.
- [156] Башкин В.Н., Сорокикова Н.В., Припутина И.В. Эколого-агрохимическое районирование в Московской области // Химизация сельского хозяйства. 1991. 9. С.6-10.
- [157] Перельман А.И. Взаимосвязь учения о биогеохимических провинциях и геохимии ландшафта // Тр.Биогеохим.лаб.АН СССР. Т.23. 1992. С. 154-168.
- [158] Башкин В.Н., Козлов М.Я., Евстафьева Е.В. Экспертно-моделирующие системы для эколого-агрогеохимического районирования сельскохозяйственных территорий // Биологическая роль микроэлементов и их роль в сельском хозяйстве и медицине. Самарканд, 1990. С. 10-12.
- [159] Ковальский В.В., Сусликов В.Л. Кремниевые субрегионы биосферы СССР // Тр.Биогеохим.лаб.АН СССР. Т.18. М.: Наука, 1990. С.5-38.
- [160] Ревич Б.Ф. Рb, Hg и Cd в биосубстратах населения промышленных городов // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Самарканд, 1990. С.71-73.
- [161] Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985.
- [162] Полевой В.В. Физиология растений. М.: Высшая школа, 1989.
- [163] Bowen H.J. M. Trace elements in biochemistry. New York: Academic Press, 1966.
- [164] Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. 7. С.555-571.
- [165] Пейве Я.В. Микроэлементы и биологическая фиксация атмосферного азота // Тимиряз. чтен. 31. М., 1971. С. 53-62.
- [166] Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов. М.: Высшая школа, 1970.
- [167] Бойченко Е. А. Соединения металлов в эволюции растений в биосфере // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1976. 3. С.378-385.
- [168] Ковалевский А.Л. Основные закономерности формирования химического состава растений // Биогеохимия растений. Улан -Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1969. С.6-28.
- [169] Леванидов Л.Я., Давыдов С.Т. Марганец как микроэлемент в связи с биохимией и свойствами таннидов. Челябинск: Кн. изд-во, 1961.

- [170] Цветкова Н.Н. Микроэлементы в жизни степного леса // Там же. 1977. С. 50-54.
- [171] Важнин Е.А. Химические и минералогические исследования почв в окрестностях металлургических предприятий // Бюл. / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 1983. Вып. 35. С. 32-35.
- [172] Grill E. Schutz der Pflanzen vor Schwermetallen // Jahrb. Akad. Wiss. Gottingen Jahr. 1989. G(ttingen, 1990. S.21-24.
- [173] Растения в экстремальных условиях минерального питания / Под ред. М.Я.Школьника и Н.В.Алексеевой-Поповой. Л.: Наука, 1983.
- [174] Турков В.Д., Шелепина Г.А. Биологическая оценка мутагенной активности техногенной пыли и почвы по хромосомным нарушениям в клетках растений // Загрязнение среды. М., 1980. С.43-45.
- [175] Baker A.J. Metal tolerance // New Phytol. 1987. Vol.106. 1. P.93-111.
- [176] Wu L., Antonovics J. Zinc and copper uptake by *Agrostis stolonifera* tolerant to both zinc and copper // New Phytologist. 1975. Vol.75. 2. P.231-237.
- [177] Берзиня А.Я. Загрязнение металлами растений в придорожных зонах автомагистралей // Загрязнение природной среды выбросами автотранспорта. Рига: Зинатне, 1980. С.28-45.
- [178] Инсарова И.Д. Влияние тяжелых металлов на лишайники // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.7. 1983. С. 101-113.
- [179] Gekeler W., Grill E., Winnacker E.-L., Zenk M. Survey of the plant kingdom for the ability to bind heavy metals through phytochelatins // Z. Naturforsch. 1989. B.44. 5-6. S.361-369.
- [180] Fernandes J.C., Henriques F.S. Biochemical, physiological, and structural effect of excess copper in plants // The Botanical Rev. 1991. Vol.57. 3. P.246-273.
- [181] Foy C.D. The physiology of plant adaptation to mineral stress // Iowa State J. Res. 1983. Vol.57. 4. P.355-391.
- [182] Grill E., Winnacker E.-L., Zenk M.H. Phytochelatins: the principal heavy-metal complexing peptides of higher plants // Science. 1985. Vol.230. 4726. P.674-676.
- [183] Taylor G.J. Exclusion of metals from the symplast: a possible mechanism of metal tolerance in higher plants // J. Plant Nutr. 1987. Vol.10. 9-16. P.1213-1222.
- [184] Нестерова А.Н. Изменение организации меристемы главных корней проростков кукурузы при действии некоторых тяжелых металлов // Современ. пробл. экол. анатомии раст.: Матер.2 Всес.совещ. 10-16 сент. 1990, Владивосток. Владивосток, 1991. С.109-111
- [185] Тойкка М.А. Уровень токсичности тяжелых металлов // Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов. Петрозаводск, 1981. С. 49-54.
- [186] Виноградов А.П. Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. М.: Наука, 1985. С.7-20
- [187] Павлов Б.К., Грошева Е.И., Бейм А.М. Оценка уровней техногенного накопления тяжелых металлов компонентами растительности лесных экосистем, существенно различающихся геохимическим фоном // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т.12. 1989. С. 204-210.
- [188] Шиханов Н.С., Юлушев И.Г. О фоновом содержании некоторых микроэлементов в растениях на территории Кировской области // Рациональное использование и охрана лугов Урала. Пермь, 1984. С.127-131.

- [189] Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов в южной части Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. 389 с.
- [190] Кузина К.И. О распределении бора и других микроэлементов в растениях // Биогеохимия растений. Улан-Удэ: Бурятское кн.изд-во, 1969. С.76-81.
- [191] Жемкова Л.Н., Бирюкова З.В., Терехова Т.С., Фоминых В.Л., Шабалова В.И. Содержание тяжелых металлов в органах растений // Пробл. использования, воспр-ва и охраны лесн.ресурсов: Матер.Респ.науч.-практ. конф. Кн. 2, Июнь 1989, Йошкар-Ола. Йошк 1989. С.135-136.
- [192] Diez Th., Krauss M. Schwermetallgehalte und Schwermetallanreicherung in landwirtschaftlich genutzten B(den Bayerns // Bayer. landwirt. Jahrb. 1992. B.69. 3. S.343-355.
- [193] Godzik B. Accumulation of heavy metals in *Biscutella laevigata* (Cruciferae) as a function of their concentration in substrate // Pol. Bot. Stud. 1991. Vol.2. P.241-246.
- [194] Ровенская Л.И. Накопление тяжелых металлов в листьях растений и в почве г. Алма-Аты // Пром. ботан.: Состояние и перспективы развития: Тез. докл. Респ. науч. конф. Сент. 1990, Донецк. Киев, 1990. С.143.
- [195] Агжигитова Н.И., Капустина Л.Ф. Особенности распределения растительных сообществ Букантау и накопление некоторых микроэлементов в растениях в зависимости от подстилающих пород // Узб. биол. журн. 1985. 1. С.38-40
- [196] Скарлыгина-Уфимцева М.Д. Техногенное загрязнение растений тяжелыми металлами и его эколого-биологический эффект // Тяжелые металлы в окружающей среде. М., 1980. С.85-88.
- [197] Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in plants // Ann. Rev. Plant. Physiol. 1978. Vol.29. 4. P.511-566.
- [198] Второва В.Н. Изменчивость элементного состава у представителей родов *Populus*, *Lycium* и *Tamarix* на засоленных почвах // Ботанический журнал. 1993. Т.78. 8. С.17-33.
- [199] Безсонова В.П. Вплив важких метал(в на п(гментну систему листка // Укр(анський ботаничний журнал. 1992. Т.49. 2. С.63-66.
- [200] Лукина Н.В., Никонов В.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. 1993. 6. С.34-41.
- [201] Baker D.E, Chesnin L. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // Advances in Agronomy .1975. Vol.27. P.306-366.
- [202] Cottenie A., Dhaese A., Camerlynck R. Plant quality responce to the uptake of polluting elements // Qual. Plantarum. 1976. Vol.26. 3. P.293-319.
- [203] Fritz D., Foroughi M., Venter F. Schwermetallgehalte in einigen Gem(searten // Landwirtschaftliche Forschung. 1976. S.-H.33. S.335-345.
- [204] Schnetzer H.L., Chetelat A., Besson J.-M. Auswirkung von Kl(rchlammm kompost auf den Schwermetallgehalt von Futterpflanzen im Gefa(versuch // Landwirtschaftliche Forschung. 1980. S.-H.39. S.342-351.
- [205] Кветкина А.А. Распределение микроэлементов (В, Мп, Мо, Zn, Cu, V, Fe, Cr, Ni) в органах кукурузы в онтогенезе и влияние предшественников на их накопление / Автореф. канд. дис. Алма-Ата, 1968.
- [206] Мишин П.Я. Динамика содержания меди и цинка в яровой пшенице по фазам развития // Агрохимия. 1967. 2. С.62-66.
- [207] Безель В.С., Кряжимский Ф.В., Семериков Н.Г., Смирнов Н.Г. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок. 1. Общие подходы // Экология. 1992. 6. С.3-11.

- [208] Пинский Д.Л., Орешкин В.Н. Тяжелые металлы в окружающей среде // Экспериментальная экология. М.: Наука, 1991. С.201-212.
- [209] Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей Среды металлами / Под ред. Н.Г.Зырина и С.Г.Малахова.М.: Гидрометеиздат, 1982.
- [210] Экспериментальная экология. М.: Наука, 1991.
- [211] Гринь А.В., Ли С.К., Зырин Н.Г. Поступление тяжелых металлов (цинка, кадмия, свинца) в растения в зависимости от их содержания в почвах // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 198-202.
- [212] О выполнении работ по определению загрязнения почв / Госкомитет СССР по охране природы, 10.12.90. 02.10/51-2333.
- [213] Timmermann F., Scoll W. Nutzen und Risigen der landwirtschaftlichen Verwertung von Kl(rschlamm und Siedlungskomposten // VDLUFA- Schriftreihe / Kongressband. S.-H.23. 1987. S.1-24.
- [214] Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. Справочный материал. Санкт-Петербург. 1993.
- [215] Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С.17.
- [216] Verloo M., Cottenie A., Landschoot G. van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // Landwirtschaftliche Forschung / Kongressband. S.- H.39. 1982. S.394-403.
- [217] Тяжелые металлы в окружающей среде . Международный симпозиум / Сборник тезисов . 15-18 окт. 1996 г., г.Пушино. Пушино: Ин-т почвовед. и фотосинтеза РАН, 1996.

HEAVY METALS IN SOILS AND PLANTS DURING TECHNOGENIC CONDITIONS

N.V. Prochorova, N.M. Matvejev¹

The modern data on concentration levels and distribution of heavy metals in ecosystems under technogenic press are discussed. The main ways of heavy metals entering into environment, their migration and accumulation features are also described including the comparative data on heavy metals accumulation both with soils and plants. The modern principles of ecological norming are showed.

¹Prochorova Natalja Vladimirovna, Matvejev Nikolaj Mikhailovich Dept. of Ecology, Biology and Nature Protection Samara State University