

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ВАНАДИЯ И БЕРИЛЛИЯ В СИСТЕМЕ «БОРОВЫЕ ПЕСКИ - ТРАВЯНИСТЫЕ РАСТЕНИЯ» В БОРАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

А. Р. Сибиркина¹, С. Ф. Лихачев¹, А. В. Кочеров²

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»

²ФГАОВУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»

НОЦ «Развитие социально-экономических систем» ИЭ УрО РАН

Поступила в редакцию 23.12.2016 г.

Аннотация. В статье представлены данные о содержании Ве и V в системе «боровые пески – травянистые растения» семипалатинских боров. Было исследовано 52 вида травянистых растений из 19 семейств, доминантными из которых является *Carex pediformis* С.А. Mey, *Festuca sulcata* Hack. и *Poa stepposa* (Krylov) Roshev. Из изученных растений, особенно перспективно использование *Spiraea hypericifolia* L., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench и некоторых представителей семейства Rosaceae Juzz. Эти растения, обладая хорошими металлопоглотительными возможностями, способны создавать эстетичный вид городским ландшафтам. Проведенные нами исследования показали, что максимальное накопление соединений бериллия и ванадия у данных видов растений происходит в подземной части, следовательно, использование технология скашивания не приемлемо, но их декоративные качества и жизненная форма позволяет широко использовать их при организации ландшафтов различного функционального назначения.

Полученные результаты по содержанию, накоплению и распределению бериллия и ванадия в поверхностном слое боровых песков боров, позволяют предположить, что гипергенные процессы вносят коррективы в первоначальный уровень содержания элементов в материнском субстрате. Прямое влияние на содержание металлов в почве имеют именно факторы почвообразования, а не породы. Установлено, что для условно фоновых боровых песков боров большее значение имеет ландшафтно-геохимические условия миграции металлов и связанные с ними биогехимическая специализация растений по семействам и классам. Исследованные семейства растений по-разному распределяют элементы в надземной и подземной части растения.

Повышенное накопление Ве и V в равнинных боровых песках отмечено в окрестностях населенных пунктов. Показано, что поступление Ве и V в растения происходит через почву и атмосферный воздух.

Ключевые слова: бериллий, ванадий, травянистые растения, боровые пески.

Сведения о биоаккумуляции элементов системой «почва – растения» лесных ландшафтов имеют определенный научно-практический интерес, принимая во внимание активную роль лесных экосистем в глобальном геохимическом круговороте [1 с. 272]. Учитывая, что лесные массивы подвергаются мощному антропогенному воздействию, например, в результате пожаров, интенсивной бесконтрольной их вырубке, происходит нарушение биогехимического круговорота веществ [2 с. 167; 3 с. 316; 4 с. 156-160]. Не являются исключением и реликтовые боры Семи-

палатинского Прииртышья, выполняющие климаторегулирующие, санитарно-гигиенические, почвозащитные функции. Семипалатинские боры не подвержены широкомасштабному техногенному загрязнению, но их территориальное расположение на границе крупных промышленных комплексов Восточно-Казахстанской области, может служить причиной загрязнения песков и растений соединениями тяжелых металлов (ТМ), в том числе и ванадием. Исследование же содержания бериллия, относящегося к легким металлам, обусловлено рядом факторов. Во-первых, в качестве критериев принадлежности элементов к ТМ используют многочисленные характеристики:

атомную массу, плотность, токсичность, распространенность в природе, степень вовлеченности в природные и техногенные процессы. Следует учесть, что бериллий обладает ярко выраженным аллергическим и канцерогенным действием. Во-вторых, в фитоценозе семипалатинских боров могут наблюдаться повышенные концентрации бериллия, так как на территории Восточно-Казахстанской области имеются аномальные его концентрации не только естественного, но и искусственного происхождения, вызванные взрывом на бериллиевом производстве объединения «Ульбинский металлургический завод» в Усть-Каменогорске, приведшем к выбросу бериллия в атмосферу. Превышение ПДК достигало 60-890 раз, при значениях ПДК для воздуха в пересчете на бериллий 0,001 мг/м³ [26]. Несмотря на это, вопрос о накоплении элементов боровыми песками и растениями реликтовых боров Прииртышья является малоизученным. Растения, отражая видовые особенности содержания металлов, несут, вместе с тем, локальную окраску состава среды их обитания. Следовательно, почвенный покров и растения семипалатинских боров заслуживают пристального внимания как объект экологического мониторинга [5, с. 38; 6, с. 277].

Цель данной работы - изучить биогеохимические закономерности содержания и распределения ванадия и бериллия в системе «боровые пески - травянистые растения» в борах Семипалатинского Прииртышья.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Изучение биоразнообразия растений естественных экосистем является основой для поддержания экологических условий существования человеческого общества [7 с. 273-284]. При этом значительная роль принадлежит биогеохимическим исследованиям, направленным не только на биогеохимическую инвентаризацию групп растений, но и прогнозирование рациональных путей использования растительных ресурсов [7], например, в целях фиторемедиации загрязненных металлами территорий. Данные исследования проводились на различных участках семипалатинских боров вдоль правобережья реки Иртыш с использованием атомно-абсорбционного и математико-статистического методов.

Отбор проб производился с 2000 по 2009 гг. по географической протяженности боров и согласно розе ветров, включая территорию от Бородулихинского района: от Шульбинского водо-

хранилища до села Бородулиха; до села Бегень Бескарагайского района на границе с Павлодарской областью Республики Казахстан; в двух направлениях от города Семей: в районе пос. Контрольный и пос. Красный Кордон; в селах Долонь и Сосновка Бескарагайского района до границы с Алтайским краем Российской Федерации (зона прохождения следа радиоактивных выпадений ядерных испытаний 1949 года). Пробы растений отбирались в летне-осенние периоды.

Согласно лесорастительному районированию КазНИИЛХа, исследуемые леса относятся к району сухостепных Прииртышских ленточных боров на песках Иртыша и провинции Прииртышских ленточных в ложбинах древнего стока.

В ходе исследования пробы отбирались в пяти типах боров: в сухих борах высоких, пологих и средних бугров, в западном и равнинном борах, согласно классификации Л.Н. Грибанова и К.А. Пашковского [8 с. 67-69; 9 с. 22-28]

При отборе, транспортировке, хранении и подготовке почвенных и растительных проб для анализа были использованы методические указания, инструкции, опубликованные во многих научных работах и утвержденные в стандартах [10 с. 27; 11 с. 10; 12 с. 68-69; 13 с. 140; 14 с. 210; 15 с. 108].

В растительном покрове преобладают осоковые, степные дерновинные злаки и разнотравье. Всего в исследуемых районах боров было обнаружено 52 вида травянистых растений из 19 семейств, доминантными из которых является осока стоповидная, типчак и мятлик степной. Мохово-лишайниковый покров отсутствует.

Латинские названия растений даны по С.К. Черепанову и Арыстангалиеву С.А. [16 с. 288; 17 с. 510]. Для определения растений использовались определители [18 т. 1-9; 19 т. 1]. Химические элементы определяли в институте геологии и минералогии (ИГМ СО РАН) (г. Новосибирск) с применением методов атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) и электротермической атомизации для подвижных форм бериллия. Используемые приборы: ААС модель SP9 фирмы PYE UNICAM (пламенная атомизация); ААС модель Zeeman/3030 HGA-600 фирмы PERKIN-ELMER (электротермическая атомизация). Предел обнаружения составил для растений и валового содержания в почвах 0,005-10,0 мг/кг, для подвижных форм - 0,002-0,02 мг/л.

С целью более полной агрохимической и экотоксикологической оценки почв наряду с валовым анализом были изучены подвижные формы

металлов: кислоторастворимая (1н. раствор HCl), обменная (ацетатно-аммонийный буфер с pH 4,8), водорастворимая (бидистиллированная вода).

Коэффициент биологического поглощения (КБП) рассчитывался как отношение содержания элемента в золе растений к его валовому среднему содержанию в боровых песках. Показатель биотичности элементов рассчитывался как отношение содержания элемента в органах к кларку земной коры [20 с. 56-64].

Для характеристики распределения элементов между живым веществом и абиотической средой были вычислены коэффициенты накопления (K_{H1}) [21 с. 73] и (K_{H2}) [22 с. 376-382]. Коэффициент накопления (K_{H1}) - отношение концентрации элементов в воздушно-сухой массе растений (мг/кг) к концентрации валовой и подвижных форм соединений элементов в почве (мг/кг).

Коэффициент накопления (K_{H2}) выражает отношение содержания элемента в корнях к таковому в почве: $K_{H2} = C_{корни} : C_{почва}$, (3), где $C_{корни}$ - содержание элемента в корнях, $C_{почва}$ - содержание элемента в почве.

Для характеристики процессов перехода элементов из корней в надземную часть травянистых растений рассчитывали коэффициент перехода ($K_{П}$), равный отношению содержания элемента в надземной фитомассе к таковому в корнях [22]: $K_{П} = C_{надз. часть} : C_{корни}$, (4), где $C_{надз. часть}$ - содержание элемента в надземных частях, $C_{корни}$ - содержание элемента в корнях.

Для характеристики линейной зависимости между содержанием элементов в органах растений и их содержанием в почве, были рассчитаны коэффициенты корреляции. Двусторонняя корреляционная связь была выражена нами через показатели регрессии с помощью формул и уравнений, которые дают наглядное представление о форме и тесноте корреляционной связи между признаками. Полученные экспериментальные данные были обработаны вариационно-статистическими методами, с помощью программы Microsoft Excel.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Боровые пески являются слабогумусированными (содержание гумуса - 0,7%), с отсутствием карбонатов в верхнем гумусовом горизонте, что определяет их низкую активность к накоплению элементов. Вместе с тем, исторически сложившееся преобладание цветной и перерабатывающей промышленности в Восточном Казахстане, характерная роза ветров и климатические и погодные

условия региона способствуют удерживанию элементов, в поверхностном горизонте вследствие снижения интенсивности водной их миграции вглубь почвенного покрова. Среднее содержание бериллия и ванадия на исследуемой территории составило 1,60 и 41,23 мг/кг, соответственно (таблица 1), между их содержанием в боровых песках наблюдается отрицательная корреляционная зависимость ($r - 0,37$), прослеживается прямая линейная зависимость содержания элементов в песках (рис. 1).

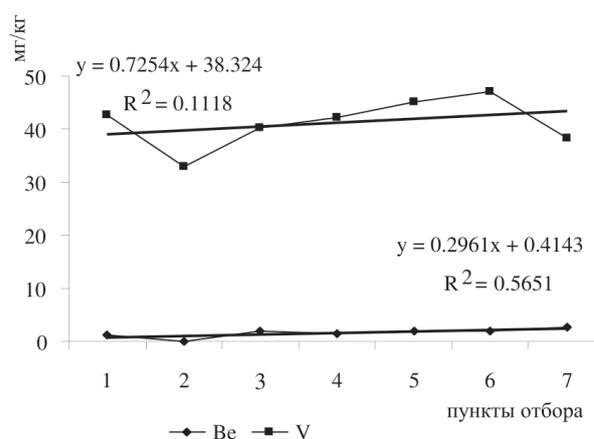


Рис. 1. Кривые распределения концентраций Be и V по пунктам отбора

Таблица 1.

Среднее валовое содержание тяжелых металлов в боровых песках боров по пунктам отбора, мг/кг (глубина 0-30 см)

Место отбора	Be	V
В боровых равнинных песках, n=30		
В районе с. Долонь,	1.18 ± 0.11 0.62 - 1.46	42.68 ± 2.46 18.21 - 54.66
В районе с. Сосновка, n= 10	1.84 ± 0.11 0.84 - 2.04	32.87 ± 1.82 11.48 - 38.23
В районе г. Семей, n= 15	2.05 ± 0.09 1.52 - 2.38	40.31 ± 2.08 20.20 - 48.82
В боровых бугристых песках, n=48		
В районе с. Бегень (включая горельник), n= 10	1.43 ± 0.09 1.34 - 2.10	42.12 ± 2.35 36.36 - 49.59
В районе с. Сосновка, n= 10	1.85 ± 0.15 1.61 - 2.23	45.15 ± 2.40 34.54 - 50.22
В районе г. Семей, n= 15	2.01 ± 0.18 1.86 - 2.32	47.10 ± 2.64 36.68 - 51.50
Бородулихинский район, n=13	2.67 ± 0.06 1.62 - 2.40	38.35 ± 2.61 32.38 - 50.92
Среднее	1.60 ± 0.11 0.62 - 2.40	41.23 ± 2.34 11.48 - 51.50

Значительная территория боров находится в зоне влияния населенных пунктов Восточно-Казахстанской области, в том числе и города Семей (бывший Семипалатинск). Повышенное накопле-

ние ванадия и бериллия в равнинных борových песках отмечено в окрестностях города Семей и в окрестностях сел Долонь и Сосновка Бескарагайского района. Повышенное содержание бериллия и ванадия в борových бугристых песках выявлено в Бородулихинском районе и в окрестностях города Семей. Территория боров в данных точках отбора испытывает повышенное техногенное воздействие. Бескарагайский район подвержен периодически повторяющимся пожарам [23 с. 22], территория села Долонь входит в зону прохождения следа радиоактивных выпадений испытания 1949 г. на Семипалатинском испытательном полигоне, Бородулихинский район находится в зоне влияния крупных промышленных предприятий г. Усть-Каменогорска, Лениногорска, Зырянска, а также Жезкентского горно-обогатительного комбината. Город Семей до 1993-1995 гг. был многопрофильным промышленным центром, в котором было зарегистрировано 154 промышленных предприятия, многие десятилетия служившие источниками поступления ряда элементов в систему «почва-растение» бора.

Содержание элементов в борových песках равнинных несколько отличается от такового в бугристых борových песках и варьирует в широких пределах. В бугристых песках, в отличие от равнинных, отмечены более высокие концентрации металлов с относительно невысокой атомной массой, включая бериллий и ванадий, вместе с тем, данные элементы имеют относительно невысокие кларки концентраций - $V_{0,4}$ и $Be_{0,05}$.

Между концентрацией металлов в почвенных растворах и их поглощением корнями растений, как правило, существует прямая линейная зависимость. Следовательно, доступность элементов для растений определяет не запас металлов в почве, а их водорастворимые, или подвижные формы, извлекаемые путем кислотной экстракции или с применением специфических комплексообразователей. Доступность для растений для разных подвижных форм неодинакова: в кислоторастворимой и водорастворимой формах - $V > Be$; в обменной - $Be > V$. Валовое количество металлов, характеризуя общую загрязненность почвы, не отражает степень их доступности для растения. Общий запас подвижной формы элементов извлекается кислотной вытяжкой. Соотношение подвижных форм бериллия и ванадия к их валовому содержанию в борových песках невелико и составляют 1,6 и 0,3 %, соответственно. По отношению кислоторастворимых и водорастворимых форм к

их валовому содержанию, равному для ванадия - 0,6 % и 0,28 % и бериллия - 0,5 % и 1,89 %, соответственно, изученные пески относятся к категории условно фоновых почв. Между валовым содержанием и подвижными формами металлов в песках обнаружена достоверно высокая прямая корреляционная зависимость ($r = 0,98-0,99$). Полученные результаты по содержанию, накоплению и распределению бериллия и ванадия в поверхностном слое борových песков, позволяют предположить, что гипергенные процессы вносят коррективы в первоначальный уровень содержания элементов в материнском субстрате. Прямое влияние на содержание металлов в почве имеют именно факторы почвообразования, а не породы. Почвообразование приводит к определенным нарушениям микроэлементного процесса, характерного для почвообразующей породы. При почвообразовании происходит не только биогенное накопление элементов, но и изменение их пропорций в благоприятную для растений сторону [24 с. 329, 25 с. 640].

В растительном покрове исследованных боров преобладают осоковые, степные дерновинные злаки и разнотравье. В ходе исследования выявлена определенная зависимость содержания бериллия и ванадия в травянистых растениях от их удаленности от источника загрязнения (таблица 2).

Таблица 2.
Содержание бериллия и ванадия в травянистых растениях по пунктам отбора, мг/кг сухого вещества

Пункт отбора	V	Be
в районе с. Бегень, n = 90	4.98 ± 0.3 0.41 - 13.35	0.175 ± 0.01 0.039 - 0.495
в районе с. Бегень, n = 45 (горельник 2007 г.)	2.60 ± 0.1 0.56 - 5.23	0.105 ± 0.006 0.03 - 0.125
в районе с. Сосновка, n = 108	2.36 ± 0.1 0.13 - 9.04	0.111 ± 0.007 0.006 - 1.458
в районе г. Семей, n = 120	1.98 ± 0.1 0.25 - 6.73	0.068 ± 0.004 0.015 - 0.302
в Бородулихинском районе, n = 54	3.98 ± 0.2 0.52 - 10.70	0.195 ± 0.01 0.015 - 0.69
Среднее, n = 417.	3.18 ± 0.2 0.12 - 13.87	0.131 ± 0.01 0.006 - 0.526

Повышенные концентрации ванадия выявлены в растениях в окрестностях с. Бегень, а бериллия - в Бородулихинском районе, что может являться следствием наличия на территории Восточно-Казахстанской области аномальных его концентраций естественного и искусственного происхождения [26]. Вместе с тем, относительно фоновых значений данных элементов для растений, превышений средних концентраций по вана-

дию и бериллию не обнаружено; но для бериллия обнаружены концентрации выше фона по максимальным значениям его содержания в растениях.

Уровни содержания бериллия и ванадия в травянистых растениях, относящихся к различным семействам, значительно варьирует (таблица 3). Практически все изученные растения, кроме маревых (*Chenopodiaceae Less.*), гвоздичных (*Caryophyllaceae Juzz.*), капустных (*Brassicaceae*

Burnett), зонтичных (*Umbelliferae Moris.*), паразитических (*Orobanchaceae Lindl.*) накапливают бериллий выше его фоновых концентраций в растениях [27 с. 338]. Практически фоновым содержанием элементов отличаются растения семейства заразиховые (*Orobanchaceae Lindl.*), что связано с паразитическим типом питания заразиховых и их химический состав зависит от химического состава организма – хозяина.

Таблица 3.

Уровни накопления бериллия и ванадия в травянистых растений, мг/кг

Виды растений	ванадий	бериллий	ванадий	бериллий
	в надземных органах		в подземной части (видоизмененные побеги+корни)	
Семейство Осоковые (<i>Cyperaceae J. St. Hill.</i>), n=9				
Осока стоповидная (<i>Carex pediformis C.A. Mey.</i>), n=9	4.96±0.27(99.5) 3.50-6.46	0.166±0.009(53.8) 0.142-0.179	5.39±0.30(113.6) 1.19-10.70	0.175±0.01(176.8) 0.056-0.240
Семейство Мятликовые (<i>Poaceae Burnett</i>), n=33				
Тонконог тонкий (<i>Koeleria gracilis (L.) Pers.</i>), n=3	2.56±0.11(182.7) 2.10-3.61	0.095±0.004(212.4) 0.076-0.160	3.56±0.23(140.5) 0.33-4.35	0.182±0.010(120.0) 0.104-0.325
Ковыль волосатик, тырса (<i>Stipa capillata L.</i>), n=4	1.37±0.09(143.2) 0.58-2.32	0.046±0.002(124.8) 0.016-0.52	7.04±0.32(159.0) 3.65-9.04	0.120±0.008(168.8) 0.084-0.235
Овсец Шелля, n=3 (<i>Avenastrum Schellianum (Hack.) Roshev.</i>)	1.41±0.09(163.4) 0.47-2.13	0.032±0.001(105.4) 0.006-0.083	5.21±0.28(126.4) 1.65-6.57	0.025±0.008(104.4) 0.014-0.088
Мятлик степной (<i>Poa stepposa (Krylov) Roshev.</i>), n=3	1.34±0.07(106.8) 0.13-1.65	0.050±0.003(292.0) 0.023-0.106	4.72±0.26 (160.7) 1.56-7.06	0.184±0.010(196.0) 0.145-0.318
Вейник наземный (<i>Calamagrostus epigeios (L.) Roth.</i>), n=3	1.50±0.09(162.2) 0.53-3.11	0.071±0.004(200.5) 0.018-0.176	4.85±0.26(122.0) 2.42-7.29	0.234±0.012(114.6) 0.142-0.275
Лисохвост луговой (<i>Alopecurus pratensis L.</i>), n=3	1.61±0.10(154.3) 1.10-3.08	0.044±0.002(270.0) 0.024-0.125	5.36±0.29(175.3) 3.25-6.95	0.130±0.008(148.6) 0.106-0.208
Пырей ползучий (<i>Agropyron repens L.</i>), n=4	1.34±0.09(158.8) 1.13-2.81	0.078±0.004(116.7) 0.041-0.124	6.02±0.30(134.3) 2.67-8.26	0.146±0.008(147.7) 0.088-0.189
Тимофеевка степная (<i>Phleum phleoides (L.) Karst.</i>), n=3	1.53±0.09(182.2) 0.66-2.73	0.040±0.003(131.4) 0.024-0.083	3.28±0.24(129.7) 0.95-5.07	0.161±0.009(163.3) 0.105-0.228
Овсяница бороздчатая, типчак (<i>Festuca sulcata Hack.</i>), n=3	1.55±0.09(155.5) 0.43-3.42	0.053±0.002(286.2) 0.012-0.104	5.16±0.28(160.5) 2.24-7.28	0.150±0.009(150.0) 0.077-0.185
Волоснец гигантский (<i>Elymus giganteus Vahl.</i>), n=3	1.46±0.09(180.7) 0.86-3.42	0.111±0.005(828.6) 0.027-0.191	4.90±0.32(152.3) 2.46-7.39	0.218±0.009(283.0) 0.154-0.306
Луковые (<i>Alliaceae Borkh.</i>), n=3				
Лук угловатый (<i>Allium angulosum L.</i>), n=3	0.77±0.04 (36.4) 0.56-1.25	0.041±0.002(125.8) 0.008-0.048	12.48±0.7(108.9) 7.68-13.87	0.486±0.029(26.8) 0.381-0.530
Маревые (<i>Chenopodiaceae Less.</i>), n=12				
Марь белая (<i>Chenopodium album L.</i>), n=12	1.37±0.08 (125.8) 0.25-3.06	0.073±0.004(126.7) 0.035-0.134	0.40±0.02(31.6) 0.12-0.58	0.027±0.002(35.6) 0.008-0.038
Гвоздичные (<i>Caryophyllaceae Juzz.</i>), n=12				
Качим метельчатый (<i>Gypsophila paniculata L.</i>), n=7	0.43±0.05 (80.7) 0.31-1.26	0.176±0.01(347.4) 0.143-0.180	0.98±0.04 (56.9) 0.13-1.65	0.070±0.004(100.4) 0.068-0.127
Песчанка узколистная (<i>Arenaria stenophylla Ledeb.</i>), n=5	1.31 ±0.05 (91.9) 0.59-2.04	0.168±0.01(1157.4) 0.032-0.176	1.3±0.07 (110.9) 0.78-2.79	0.046±0.002(154.2) 0.024-0.104
Лютиковые (<i>Ranunculaceae Juzz.</i>), n=15				
Прострел раскрытый (<i>Pulsatilla patens (L.) Mill.</i>), n = 10	2.93±0.15 (114.1) 1.32-6.31	0.041±0.002(111.7) 0.022-0.084	4.43±0.19(128.9) 2.27-6.23	0.142±0.008(423.7) 0.121-0.243
Златоцвет весенний (<i>Adonis vernalis L.</i>), n = 5	2.55±0.15 (154.3) 0.67-5.98	0.065±0.003(361.1) 0.053-0.141	1.35±0.13 (67.9) 1.14-4.08	0.116±0.006(1282.7) 0.030-0.204
Капустные (<i>Brassicaceae Burnett</i>), n=36				
Икотник серый (<i>Berteroa incana L. DC.</i>), n=14	1.42±0.08 (76.2) 0.84-2.31	0.065±0.003(452.3) 0.050-0.096	4.05±0.17(68.5) 3.56-6.23	0.046±0.003(23.0) 0.044-0.052
Бурачок извилистый (<i>Alyssum tortuosum Waldst. Kit. ex Willd.</i>), n= 10	1.16±0.06 (124.8) 0.26-1.82	0.082±0.004(612.4) 0.069-0.128	1.6±0.14(120.4) 1.14-4.68	0.048±0.003(16.4) 0.044-0.050

Таблица 3. (Продолжение)

Уровни накопления бериллия и ванадия в травянистых растений, мг/кг

Виды растений	ванадий	бериллий	ванадий	бериллий
	в надземных органах		в подземной части (видоизмененные побеги+корни)	
Сурепка обыкновенная (<i>Barbarea vulgaris</i> W.T. Aiton), n=12	1.53±0.09 (80.4) 1.30-2.66	0.084±0.004(861.6) 0.067-0.142	3.06±0.2(106.3) 1.37-5.86	0.050±0.003(131.3) 0.048-0.102
Розоцветные (<i>Rosaceae</i> Juzz.), n=21				
Таволга зверобоелистная (<i>Spiraea hypericifolia</i> L.), n=3	4.28±0.27 (191.1) 2.21-9.57	0.162±0.0085(326.4) 0.112-0.510	3.26±0.3(162.9) 0.75-6.08	0.482±0.025(8.8) 0.325-0.496
Лапчатка гусиная, n = 7 (<i>Potentilla anserina</i> L.)	5.92±0.33 (172.3) 2.23-11.83	0.123±0.007(493.0) 0.086-0.357	6.59±0.3(126.7) 2.63-11.25	0.503±0.030(6.7) 0.485-0.526
Лапчатка длинночерешковая, n = 5 (<i>Potentilla longipes</i> Ledeb.)	5.87±0.30 (176.6) 2.55-12.80	0.088±0.004(412.8) 0.016-0.224	6.74±0.3(119.8) 3.59-10.67	0.498±0.030(6.4) 0.480-0.511
Костяника каменистая (<i>Rubus saxatilis</i> L.), n=3	4.59±0.27 (194.0) 0.81-8.54	0.257±0.009(268.6) 0.200-0.458	5.24±0.3(160.2) 2.57-9.95	0.483±0.027(14.8) 0.368-0.498
Малина обыкновенная (<i>Rubus idaeus</i> L.), n=3	8.04±0.36 (192.5) 6.64-13.35	0.105±0.0115(326.0) 0.092-0.264	7.37±0.3(228.9) 1.25-10.67	0.509±0.033(27.3) 0.485-0.518
Бобовые (<i>Leguminosae</i> Juss.), n=30				
Люцерна серповидная (<i>Medicago falcata</i> L.), n=7	2.00±0.12 (91.9) 1.26-5.00	0.057±0.004(206.6) 0.016-0.089	4.06±0.2(108.1) 2.63-7.12	0.180±0.010(120.8) 0.166-0.322
Солодка уральская <i>Glycyrrhiza uralensis</i> Fisch), n=8	1.86±0.10 (108.8) 0.59-4.72	0.082±0.005(263.1) 0.048-0.120	3.20±0.2 (83.3) 1.56-4.85	0.125±0.007(162.8) 0.066-0.194
Астрагал яичкоплодный (<i>Astragalus testiculatus</i> Pall.), n=8	2.38±0.13 (95.5) 1.81-5.12	0.111±0.006(204.8) 0.094-0.200	3.94±0.2 (91.4) 2.06-5.30	0.170±0.009(152.4) 0.126-0.262
Астрагал роговой (<i>Astragalus ceratoides</i> Bieberstein), n=7	2.80±0.13 (99.6) 1.68-5.46	0.174±0.008(342.3) 0.104-0.252	4.32±0.21 (95.6) 3.70-7.98	0.177±0.009(159.2) 0.154-0.237
Зонтичные (<i>Umbelliferae</i> Moris), n=12				
Морковник Бессера, n=12 (<i>Silaus Besseri</i> D.C.)	1.25±0.07 (26.4) 0.86-1.52	0.054±0.003(95.7) 0.015-0.104	0.63±0.03 (48.5) 0.36-0.87	0.044±0.003(51.7) 0.021-0.056
Астровые (<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl), n=132				
Цмин песчаный, n=16 (<i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench)	3.95±0.19(505.3) 2.26-8.68	0.143±0.008(1547.5) 0.064-0.378	2.15±0.1(386.2) 0.44-3.52	0.136±0.007(900.4) 0.126-0.244
Девясил шероховатый (<i>Inula aspera</i> Poir.), n=12	2.38±0.16(400.3) 0.41-4.56	0.105±0.007(830.6) 0.078-0.214	3.05±0.2(551.4) 2.06-4.76	0.085±0.006(873.8) 0.015-0.127
Полынь горькая, n=15 (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	3.30±0.17(464.3) 1.84-6.80	0.083±0.006(892.1) 0.016-0.125	2.24±0.2(300.7) 1.65-4.63	0.146±0.007(833.8) 0.121-0.237
Полынь метельчатая (<i>Artemisia scoparia</i> Wald. Et Kitt), n=14	3.42±0.17(365.3) 1.22-7.60	0.106±0.007(896.4) 0.092-0.149	1.96±0.1(286.7) 0.88-3.67	0.139±0.006(955.5) 0.106-0.221
Полынь белеющая, n=15 (<i>Artemisia leucodes</i> Schrenk.)	3.05±0.17(298.3) 1.34-8.00	0.132±0.007(634.0) 0.087-0.204	2.04±0.16(290.4) 1.11-3.62	0.143±0.008(843.4) 0.118-0.183
Полынь широколистная (<i>Artemisia latifolia</i> Ledeb.), n=10	3.18±0.16 (430.3) 0.84-7.37	0.092±0.006(597.4) 0.062-0.293	2.30±0.16(314.8) 1.35-4.38	0.094±0.005(682.4) 0.054-0.138
Василек русский (<i>Centaurea ruthenica</i> Lam.), n=15	3.20±0.18(485.8) 2.42-8.20	0.104±0.007(803.7) 0.088-0.213	3.16±0.16(321.6) 2.64-5.04	0.122±0.007(983.0) 0.111-0.215
Василек сибирский (<i>Centaurea sibirica</i> L.), n=15	3.23±0.18(395.9) 2.92-8.50	0.123±0.007(732.1) 0.101-0.302	3.41±0.16(257.3) 3.02-5.50	0.076±0.005(906.7) 0.038-0.154
Ястребинка волосистая, n=10 (<i>Hieracium pilosella</i> L.)	2.90±0.17(407.7) 0.68-7.54	0.107±0.007(634.2) 0.076-0.215	3.54±0.17(386.9) 2.57-4.57	0.144±0.008(921.5) 0.108-0.207
Дурнишник обыкновенный (<i>Xanthium strumarium</i> L.), n=12	2.76±0.17(411.1) 0.75-6.49	0.125±0.008(1084.0) 0.097-0.366	5.05±0.2 (516.0) 2.45-5.85	0.065±0.004(1337.5) 0.020-0.207
Ворсянковые (<i>Dipsacaceae</i> Lindl.), n=12				
Скабиоза бледно-желтая (<i>Scabiosa ochroleuca</i> L.), n=12	2.21±0.12(59.7) 1.36-4.68	0.114±0.007(434.3) 0.067-0.135	2.36±0.13(65.8) 1.23-5.65	0.125±0.007(524.1) 0.078-0.139
Мареновые (<i>Rubiaceae</i> Juzz.), n=12				
Подмаренник настоящий (<i>Galium verum</i> L.), n=12	3.15±0.18(67.3) 2.37-5.05	0.106±0.006(132.7) 0.052-0.124	4.22±0.24 (52.9) 2.36-6.58	0.153±0.009(333.5) 0.072-0.187
Туговые (<i>Moraceae</i> Lindl.), n=12				
Конопля сорная (<i>Cannabis ruderalis</i> Janisch), n=12	3.76±0.21(68.1) 1.59-5.46	0.128±0.007(85.7) 0.108-0.147	4.44±0.25 (84.6) 1.26-6.84	0.145±0.008(77.7) 0.111-0.158

Таблица 3. (Продолжение)

Уровни накопления бериллия и ванадия в травянистых растений, мг/кг

Виды растений	ванадий	бериллий	ванадий	бериллий
	в надземных органах		в подземной части (видоизмененные побеги+корни)	
Хвощевые (<i>Equisetaceae Rich.</i>), n=6				
Хвощ луговой (<i>Equisetum pratense Ehrh.</i>), n=6	4.12±0.23(121.8) 2.34-6.89	0.124±0.007(108.7) 0.092-0.143	3.29±0.18 (98.2) 1.43-5.87	0.121±0.007(113.0) 0.085-0.132
Заразиховые (<i>Orobanchaceae Lindl.</i>), n=6				
Заразиха голубая (<i>Orobanchae caesia Reichenb.</i>), n=6	2.15±0.12(65.3) 1.03-5.78	0.087±0.005(91.8) 0.052-0.114	-	-
Норичниковые (<i>Scrophulariaceae Lindl.</i>), n=36				
Вероника длинолистная (<i>Veronica longifolia L.</i>), n=9	2.08±0.12(66.1) 1.21-3.07		4.59±0.29 (70.2) 3.59-6.24	0.187±0.010(110.5) 0.068-0.198
Вероника колосистая (<i>Veronica spicata L.</i>), n=9	2.10±0.12(74.1) 0.96-3.00	0.056±0.003(103.0) 0.031-0.094	5.21±0.30 (53.7) 4.11-6.54	0.172±0.010(113.8) 0.089-0.204
Льнянка дроколистная (<i>Linaria Genistifolia (L.) Mill.</i>), n=8	2.18±0.12(68.9) 0.88-3.25	0.074±0.004(153.2) 0.055-0.116	6.12±0.33 (50.7) 5.33-7.13	0.213±0.013(141.5) 0.158-0.232
Льнянка короткошпоровая (эндем) (<i>Linaria brachiceras</i>), n=10	2.04±0.11(75.3) 0.80-2.90	0.092±0.005(171.6) 0.076-0.123	7.00±0.36 (83.0) 5.26-7.85	0.220±0.012(135.4) 0.143-0.228
Подорожниковые (<i>Plantaginaceae Lindl.</i>), n=12				
Подорожник прижатый (<i>Plantago derpressa Willd.</i>), n=12	2.83±0.16(169.3) 1.69-9.16	0.117±0.007(133.1) 0.063-0.154	4.20±0.2 (312.1) 3.67-9.15	0.167±0.010(46.7) 0.158-0.221
Спаржевые (<i>Asparagaceae Juzz.</i>), n=6				
Спаржа лекарственная (<i>Asparagus officinalis L.</i>), n=3	4.82±0.14(153.3) 3.83-10.24	0.216±0.021(153.0) 0.116-0.241	10.86±1.5(210.0) 5.56-11.20	0.421±0.087(33.7) 0.258-0.551
Спаржа коротколистная (<i>Asparagus brachyphyllus Turcz.</i>), n=3	3.18±0.13(59.1) 2.54-5.05	0.1800.010(98.6) 0.028-0.186	13.90±1.7(170.2) 12.58-13.92	0.307±0.080(82.9) 0.018-0.342
Среднее	2.95±0.14 (166.4) 0.19-13.35	0.115±0.010(201.6) 0.006-0.404	4.62±0.4 (172.2) 0.12-13.92	0.228±0.018(285.7) 0.008-0.526

Аномальные для растений концентрации бериллия [27] выявлены у астровых (*Asteraceae Bercht. & J. Presl*), мятликовых (*Poaceae Burnett*), лилейных (*Liliaceae Hall.*), розоцветных (*Rosaceae Juzz.*) и бобовых (*Leguminosae Juzz.*). Следует отметить, что в растениях из семейства мятликовые (*Poaceae Burnett*) зафиксированы аномально высокие концентрации не только бериллия, но и цинка, хрома и кадмия. Содержание одновременно двух металлов с аномальными для растений концентрациями обнаружено у астровых (*Asteraceae Bercht. & J. Presl*) (медь, бериллий) и лилейных (*Liliaceae Hall.*) (хром, бериллий). Растения выше перечисленных семейств можно отнести к сверхконцентраторам бериллия.

Исследованные семейства растений по-разному распределяют элементы в надземной и подземной части растения. Растения из семейств осоковые, ворсянковые, тутовые, подорожниковые, мятликовые, луковые, спаржевые, норичниковые, лютиковые, бобовые, розоцветные, мареновые оба элемента накапливают в подземной части растения. Растения из семейств маревые,

зонтичные и капустные – оба элемента в надземной части растения. Различие в накоплении данных элементов выявлено в растениях из семейств гвоздичные и астровые. У гвоздичных большее накопление бериллия происходит в надземной, а ванадия – в подземной части растения; у растений из семейства астровые, противоположный характер накопления: ванадия - в надземной, а бериллия – в подземной части растения. Для данных элементов выявлено различное распределение по органам растения: ванадия – плоды > листья > цветки > стебли; бериллия - плоды > цветки > листья > стебли.

Исследование содержания элементов в подземных видоизмененных побегах (корневищах и луковицах) травянистых растений выявило много общих черт в распределении металлов в корнях растений. И в корнях, и в подземных побегах растений между ванадием и бериллием обнаружены положительные корреляционные связи ($r = 0,52-0,60$).

Выявлено, что однодольные и двудольные растения имеют сходный характер распределения ва-

надия и бериллия по растению в целом: для однодольных - $Ve_{0,03} V_{0,01}$, а для двудольных - $Ve_{0,02} V_{0,01}$.

Рассчитанные коэффициенты накопления доказывают, что травянистые растения боров даже в условиях незагрязненных почв накапливают элементы в высоких концентрациях, и при этом валовое содержание металлов в почве не является главным источником данных элементов для растений. Основное поглощение металлов идет за счет их подвижных, более доступных для растений форм, а также за счет их поступления из атмосферы.

Согласно рядам биологического поглощения [28 с. 528], для травянистых растений боров ванадия и бериллия являются элементами слабого накопления и среднего захвата (КБП 0,7-0,8). Относительно ПБЭ данные элементы существенной роли в общем круговороте веществ в лесной экосистеме не играют.

Наличие исчерпывающей информации по каждому виду растений ускорит вовлечение этих видов в различные сферы деятельности [29 с. 34-41]. Полученные данные о металлонакопительных способностях травянистых растений боров Семипалатинского Прииртышья целесообразно использовать при разработке мероприятий по фиторемедиации территорий с возможным загрязнением соединениями металлов, возможности применения фитоэкстракционных методов описаны и в других работах [30 с. 265-267, 31 с. 22]. Согласно нашим исследованиям, из изученных растений, особенно перспективно использование таволги зверобоелистной, цмина песчаного и некоторых представителей семейства розоцветные. Эти растения, обладая хорошими металлопоглотительными возможностями, способны создавать эстетичный вид городским ландшафтам. В работе Д.В. Ульриха и С.Е. Денисова [32 с. 62-64] рассматривается возможность использования пырея ползучего и овсяницы луговой для извлечения из почвы соединений цинка и меди, с применением технологии скашивания, так как наибольшее накопление данных элементов происходило в листьях. Проведенные нами исследования показали, что максимальное накопление соединений бериллия и ванадия у данных видов растений происходит в подземной части, следовательно, использование технология скашивания не приемлемо, но их декоративные качества и жизненная форма позволяет широко использовать их при организации ландшафтов различного функционального назначения [33 с. 293-299].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование химического состава травянистых растений показало, что для условно фоновых боровых песков большее значение имеет ландшафтно-геохимические условия миграции металлов и связанные с ними биогеохимическая специализация растений по семействам и классам. Количество металлов и формы их соединений в растениях боров определяются физико-химическими свойствами элементов, их физиологической ролью в метаболических процессах, биологическими особенностями растений, а также содержанием металлов в почвообразующих породах, в боровых песках и атмосфере.

Видовые особенности травянистых растений к накоплению и распределению соединений металлов по органам и тканям, позволяет рекомендовать их к использованию в качестве фитоэкстракторов при очистке почв и санитарном озеленении территорий, загрязненных соединениями металлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., Мысль, 1983, 272 с.
2. Балбышев И.Н. Из жизни леса. С-П., ЛЕ-НИЗДАТ, 1990, С. 3-5, 152-161, 164-167.
3. Букштынов А. Д., Грошев Б. И., Крылов Г. В. Леса. М., Мысль, 1981, 316 с.
4. Сокольский И. Целебный красный лес. // Наука и жизнь. 2008. № 2. С. 156-160.
5. Сибиркина А. Р. Биогеохимическая оценка содержания тяжелых металлов в сосновых борах Семипалатинского Прииртышья. Дисс. докт. биол. наук. Омск, 2014, 38 с.
6. Сибиркина А.Р. Содержание бериллия в органах сосны обыкновенной ленточных боров Прииртышья Республики Казахстан // Сиб. экол. журн. №2. 2012. С. 277-284.
7. Высочина Г. И., Кукушкина Т. А., Коцупий О. В, Загурская Ю. В., Баяндина И. И. Изучение флоры лесостепной зоны Западной Сибири как источника биологически активных соединений // Сиб. экол. журн. №2. 2011. С. 273-284.
8. Грибанов Л. Н. Степные боры Алтайского края и Казахстана. М.Л. 1960, С. 67-69.
9. Пашковский К.А. Возобновление сосны в ленточных борах Прииртышья. А-А., Наука, 1951, С.22-28.
10. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. ГОСТ 17.4.3.01-83

- (СТ СЭВ 3847-82). Введ. 1984-01-07. М., 1984, 27 с.
11. Почвы. Отбор проб. ГОСТ 28168-89. Введ. 1990-04-01. – М., 1990, 10 с.
12. Жидеева В. А., Васенев И. И., Щербаков А. П. Особенности распределения различных форм агротехногенной меди в почвах яблоневых садов Курской области. // *Агрохимия*. 1999. №9. С. 68-69.
13. Уваров Г. И., Голушов П. В. Практикум по почвоведению с основами бонитировки почв. Белгород, Изд-во Белгор. гос. ун-та, 2004, 140 с.
14. Ринькис Г. Я., Рамане Х. К., Куницкая Т. А. Методы анализа почв и растений. Рига, Зинатне, 1987, 210 с.
15. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М., Гидрометеоиздат, 1981, 108 с.
16. Арыстангалиев С. А., Рамазанов Е. Р. Растения Казахстана. Алма-Ата, «Наука» КазССР, 1977, 288 с.
17. Черепанов С. К. Сосудистые растения СССР. Л., Наука, 1981, 510 с.
18. Флора Казахстана. А.-А., Изд-во Академии наук Каз. ССР, Т.1-9, 1961.
19. Байтенов М. С. Флора Казахстана. Иллюстрированный определитель семейств и родов. Алматы, Гылым, 1999, Т. 1, 395 с.
20. Глазовский Н. Ф. Биогеохимический круговорот химических элементов и подходы к его изучению. // *Биогеохимический круговорот веществ в биосфере*. М., Наука, 1987, С. 56-64.
21. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Химические элементы в системе П-Р. Новосибирск, Наука, 1982, 73 с.
22. Безель В. С., Жуйкова Т. В., Позолотина В. Н. Структура ценопопуляций одуванчика и специфика накопления тяжелых металлов. // *Экология*. 1998. №5. С. 376-382.
23. Устемиров К. Ж. Лесокультурная оценка гарей в Прииртышье и разработка мер по улучшению условий их обсеменения с целью восстановления сосновых насаждений. Дисс. канд. сельскохоз. Наук. Алматы, 2010, 22 с.
24. Панин М. С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень). Семипалатинск, ГУ «Семей», 1999, 329 с.
25. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: учеб. для вузов. М., Дрофа, 2010, 640 с.
26. Ульбинский металлургический завод / национальная атомная компания режим доступа http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/ulbinskij_metallurgicheskij_zavod (дата обращения: 20.02.2016)
27. Панин М. С. Эколого-биогеохимическая оценка техногенных ландшафтов Восточного Казахстана. Алматы, Изд-во «Эверо», 2000, 338 с.
28. Перельман А. И. Геохимия: Учеб. для геол. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М., Высш. шк., 1989, 528 с.
29. Минаева В. Г. Теоретические и практические аспекты биохимического изучения лекарственных растений Сибири при интродукции. // Ускорение интродукции растений Сибири : задачи и методы. Новосибирск, Наука. Сиб. отд-ние, 1989, С. 34-41.
30. Доржонова В. О., Убугунов В. Л., Убугунов Л. Л. Фиторемедиация загрязненных кадмием почв г. Закаменска (Юго-Западное Забайкалье). // *Мат-лы VI съезда Об-ва почвоведов им. В. В. Докучаева: сб. научн. тр. Петрозаводск, 2012, С. 265-267.*
31. Доржонова В. О. Фитоэкстракция и фитотоксичность тяжелых металлов в загрязненных почвах. Дис. канд. биол. наук. Улан-Удэ, 2013, 22 с.
32. Ульрих Д. В., Денисов С. Е. Химические и биохимические технологии ремедиации водосборных территорий. // *Экология урбанизированных территорий*. 2011. № 2. С. 62-64.
33. Киселева Т. И., Чиндяева Л. Н. Особенности биологии лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia* L.) на северо-восточной границе ареала. // *Сиб. экол. журн.* №2. 2011. С. 293-299.

*Челябинский Государственный Университет
Сибиркина А. Р., зав. кафедрой геоэкологии и
природопользования
Тел.: +7 (351) 724-54-64
E-mail: sibirkina_alfira@mail.ru*

*Chelyabinsk state University
Sibirkina A. R., head. Department of Geoecology
and Nature Management
E-mail: sibirkina_alfira@mail.ru
Ph.: +7 (351) 724-54-64*

Сибиркина А. Р., Лихачев С. Ф., Кочеров А. В.

Лихачев С. Ф., декан факультета экологии
Тел.: +7 (351) 724-54-64
E-mail: likhashev@mail.ru

Likhachev S. F., Dean of the Faculty of Ecology
Ph.: +7 (351) 724-54-64
E-mail: likhashev@mail.ru

Научно-образовательный центр «Развитие социально-экономических систем» Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национально исследовательский университет)»

Кочеров А. В., научный сотрудник
E-mail: kocherov.andrey@gmail.com

Researcher of the Scientific and Educational Center «Development of Socio-Economic Systems» of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, «South Ural State University (national research university)»

Kocherov A. V., Researcher
E-mail: kocherov.andrey@gmail.com

BIOGEOCHEMICAL PROPERTIES OF VANADIUM AND BERYLLIUM IN THE "PINERY SANDS - HERBACEOUS PLANTS" SEMIPALATINSK IRTYSH FOREST OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A. R. Sibirkina, S. F. Likhachev, A.V. Kocherov

Chelyabinsk State University

Abstract. The article presents data on the content of Be and V in the «pinery sands - herbaceous plants» forests. Was studied 52 species of herbaceous plants of 19 families, the dominant of which is *Carex pediformis* C.A. Mey, *Festuca sulcata* Hack. and *Poa stepposa* (Krylov) Roshev. Of the studied plants, especially promising is the use of *Spiraea hypericifolia* L., *Helichrysum arenarium* (L.) Moench and some members of the family Rosaceae Juzz. These plants, possessing good metal absorbing capabilities, are capable to create an esthetic look to city landscapes. Our studies have shown that the maximum accumulation of compounds of beryllium and vanadium in these plant species occurs in the underground part, therefore, the use of mowing technology is not acceptable, but their decorative qualities and vital form allows them to be widely used in the organization of landscapes of various functional purposes.

The results obtained on the content, accumulation and distribution of beryllium and vanadium in the surface layer of Sands suggest that the hypergenic processes make adjustments to the initial level of the content of elements in the parent substrate. Direct influence on the content of metals in the soil is factors of soil formation, not rocks. It is established that for relatively background of the upland sand forests of the greater importance of landscape-geochemical conditions of migration of metals and related biogeochemical specialization of plants by families and classes. The investigated plant families distribute elements in the aboveground and underground parts of the plant in different ways.

Increased accumulation of Be, and V in the plains of the upland Sands is marked in the vicinity of settlements. It is shown that the flow of Be and V into the plants occurs through soil and air.

Keywords: beryllium, vanadium, herbaceous plants, pinery sands.

REFERENCES

1. Dobrovolskiy V.V. Geografija mikrojelementov. Global'noe rassejanie. M., Mysl', 1983, 272 s.
2. Balbyshev I.N. Iz zhizni lesa. S-P., LENIZDAT, 1990, S. 3-5, 152-161, 164-167.
3. Buxhtynov A. D. , Groshev B. I., Krylov G. V. Lesa. M., Mysl', 1981, 316 s.
4. Sokol'skij I. Celebnyj krasnyj les. // Nauka i zhizn'. 2008. № 2. S. 156-160.
5. Sibirkina A. R. Biogeoхимическая оценка содержания тяжелых металлов в сосновых борях Semipalatinskogo Priirtysh'ja. Diss. dokt. biol. nauk. Omsk, 2014, 38 s.
6. Sibirkina A.R. Soderzhanie berillija v organah sosny obyknovенной lentochnyh borov Priirtysh'ja Respubliki Kazahstan // Sib. jekol. zhurn. №2. 2012. S. 277-284.
7. Vysochina G. I., Kukushkina T. A., Kocupij O. V, Zagurskaja Ju. V., Bajandina I. I. Izuchenie flory lesostepnoj zony Zapadnoj Sibiri kak istochnika biologicheski aktivnyh soedinenij // Sib. jekol. zhurn. №2. 2011. S. 273-284.

8. Griбанov L. N. Stepnye bory Altajskogo kraja i Kazahstana. M.L. 1960, S. 67-69.
9. Pashkovskij K.A. Vozobnovlenie sosny v lentochnyh borah Priirtysh'ja. A-A., Nauka, 1951, S.22-28.
10. Ohrana prirody. Pochvy. Obshhie trebovanija k otboru prob. GOST 17.4.3.01-83 (ST SJeV 3847-82). Vved. 1984-01-07. M., 1984, 27 s.
11. Pochvy. Otkor prob. GOST 28168-89. Vved. 1990-04-01. – M., 1990, 10 s.
12. Zhideeva V. A., Vasenev I. I., Shherbakov A. P. Osobennosti raspredelenija razlichnyh form agrotehnogennoj medi v pochvah jablonevyh sadov Kurskoj oblasti. // Agrohimiya. 1999. №9. S. 68-69.
13. Uvarov G. I., Goleusov P. V. Praktikum po pochvovedeniju s osnovami bonitirovki pochv. Belgorod, Izd-vo Belgor. gos. un-ta, 2004, 140 s.
14. Rin'kis G. Ja., Ramane H. K., Kunickaja T. A. Metody analiza pochv i rastenij. Riga, Zinatne, 1987, 210 s.
15. Metodicheskie rekomendacii po provedeniju polevyh i labo-ratornyh issledovanij pochv i rastenij pri kontrole zagrjaznenija okruzhajushhej sredy metallami. M., Gidrometioizdat, 1981, 108 s.
16. Arystangaliev S. A., Ramazanov E. R. Rasteniya Kazahstana. Alma-Ata, «Nauka» KazSSR, 1977, 288 s.
17. Cherepanov S. K. Sosudistye rasteniya SSSR. L., Nauka, 1981, 510 s.
18. Flora Kazahstana. A.-A., Izd-vo Akademii nauk Kaz. SSR, T.1-9, 1961.
19. Bajtenov M. S. Flora Kazahstana. Illjustrirovannyj opredelitel' semejstv i rodov. Almaty, Gylym, 1999, T. 1, 395 s.
20. Glazovskij N. F. Biogeohimicheskij krugovorot himicheskikh jelementov i podhody k ego izucheniju. // Biogeohimicheskij krugovorot veshhestv v biosfere. M., Nauka, 1987, S. 56-64.
21. Il'in V. B., Stepanova M. D. Himicheskie jelementy v sisteme P-R. Novosibirsk, Nauka, 1982, 73 s.
22. Bezel' V. S., Zhujkova T. V., Pozolotina V. N. Struktura cenopuljacij oduvanchika i specifika nakoplenija tjazhelyh metal-lov. // Jekologija. 1998. №5. S. 376-382.
23. Ustemirov K. Zh. Lesokul'turnaja ocenka garej v Priirtysh'e i razrabotka mer po uluchsheniju uslovij ih obsemenenija s cel'ju vosstanovlenija sosnyh nasazhdenij. Diss. kand. sel'skohoz. Nauk. Almaty, 2010, 22 s.
24. Panin M. S. Formy soedinenij tjazhelyh metallov v pochvah srednej polosy Vostochnogo Kazahstana (fonovyj uroven'). Semipalatinsk, GU «Semej», 1999, 329 s.
25. Koshkin E. I. Fiziologija ustojchivosti sel'skohozjajstvennyh kul'tur: ucheb. dlja vuzov. M., Drofa, 2010, 640 s.
26. Ul'binskij metallurgicheskij zavod / nacional'naja atomnaja kompanija rezhim dostupa http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/ulbinskij_metallurgicheskij_zavod (data obrashhenija: 20.02.2016)
27. Panin M. S. Jekologo-biogeohimicheskaja ocenka tehnogennyh landshaftov Vostochnogo Kazahstana. Almaty, Izd-vo «Jevero», 2000, 338 s.
28. Perel'man A. I. Geohimiya: Ucheb. dlja geol. spec. vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. M., Vyssh. shk., 1989, 528 s.
29. Minaeva V. G. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty biohi-micheskogo izuchenija lekarstvennyh rastenij Sibiri pri introdukcii. // Uskorenie introdukcii rastenij Sibiri : zadachi i metody. Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-nie, 1989, S. 34-41.
30. Dorzhonova V. O., Ubugunov V. L., Ubugunov L. L. Fitoremediacija zagrjaznennyh kadmijem pochv g. Zakamenska (Jugo-Zapadnoe Zabajkal'e). // Mat-ly VI s#ezda Ob-va pochvovedov im. V. V. Dokuchaeva: sb. nauchn. tr. Petrozavodsk, 2012, S. 265-267.
31. Dorzhonova V. O. Fitojeks-trakcija i fitotoksichnost' tjazhelyh metallov v zagrjaznennyh pochvah. Dis. kand. biol. nauk. Ulan-Udje, 2013, 22 s.
32. Ul'rih D. V., Denisov S. E. Himicheskie i biohimicheskie tehnologii remediacii vodosbornyh territorij. // Jekologija urbanizirovannyh territorij. 2011. № 2. S. 62-64.
33. Kiseleva T. I., Chindjaeva L. N. Osobennosti biologii loha uzkolistnogo (Elaeagnus angustifolia L.) na severo-vostochnoj granice areala. // Sib. jekol. zhurn. №2. 2011. S. 293-299.