

ВЛИЯНИЕ ЗОЛОТОДОБЫЧИ НА СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДОЛИНЫ РЕКИ ДЖАЛИНДА (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

Изучен химический состав растений техногенно измененного ландшафта. Установлены особенности и пространственное распределение загрязнения растительности, произрастающей на территории района добычи россыпного золота.

Ключевые слова: *загрязнение растительности, элементный состав растений.*

The chemical composition of the plants of a technogenically modified landscape has been examined. The study revealed the character and spatial distribution of pollution of the vegetation growing on the territory of the area of placer gold-mining.

Keywords: *vegetation pollution, elemental composition of plants.*

ВВЕДЕНИЕ

Горное производство, как одно из основных направлений хозяйственной деятельности, оказывает масштабное воздействие на все основные компоненты природной среды. Дальний Восток — старейший горнорудный регион России. Интенсивное освоение месторождений золота, особенно россыпного, приводит здесь к резкому увеличению площадей открытых разработок, которые находятся в основном в долинных ландшафтах, выполняющих важные средорегулирующие функции. Поэтому для эколого-геохимической оценки одного из районов золотодобычи весьма актуально изучение состояния компонентов природной среды с применением современных аналитических методов (РФА, ICP-AES, ISP-MS), достигающих высокой степени чувствительности для большинства химических элементов.

Среди живых организмов растения являются главными аккумуляторами тяжелых металлов. Как известно, основные факторы, определяющие химический состав растений, — это ландшафтно-геохимические условия их произрастания. В целом изучение зависимостей поглощения тяжелых металлов растениями в настоящее время широко отражено в литературе [1–3]. При этом в работах в основном оценивается концентрация металлов, отрицательно влияющих на развитие и биопродуктивность сельскохозяйственных культур [4–6]. В ряде работ рассматриваются проблемы накопления тяжелых металлов растениями вблизи предприятий цветной и черной металлургии [7], в придорожных зонах автомагистралей и крупных промышленных городах [8, 9]. Отдельные публикации посвящены выявлению биогенных ореолов элементов-индикаторов полиметаллических месторождений [10] и т. д.

К сожалению, данных о распределении микроэлементов в растениях на территориях, загрязненных в результате эксплуатации предприятий золотодобычи, немного. В. И. Радомской с соавторами [11] изучена биоаккумуляция благородных металлов растениями; ряд работ касается содержания ртути и других микроэлементов в природных объектах [12–13]. Поэтому наша задача заключалась в изучении пространственного распределения микроэлементов в растениях исследуемого района.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начиная с конца XIX в., в пределах долины р. Джалинды отрабатывается одноименное месторождение россыпного золота. Этот объект входит в состав Соловьевского золотороссыпного района, расположенного в западной части Урканской впадины и охватывающего бассейны рек Янкан, Джалинда, Мал. и Бол. Уркан (см. рис. 1). В верховьях р. Джалинды находятся Кировское (Джалиндинское) золоторудное месторождение и целый ряд рудопроявлений, которые, вероятно, являются основными источниками россыпей района.

Рельеф рассматриваемой территории относится к низкогорному и равнинному типам. В районе представлены лиственничные, березово-лиственничные леса на горных буротаежных почвах и обширные болота — мари с болотными почвами среднетаежной подзоны [14]. Характерные составляющие маревых ландшафтов — перелески и куртины леса из лиственницы и березы, приуроченные к сопкам, небольшим повышениям и другим участкам и массивам, обладающим определенной степенью дренированности. Такие маревые пространства с беспорядочно разбросанными по ним куртинами леса — лесомари.

Борта долины и водораздельные участки покрыты лесом, в котором господствующей лесной породой является лиственница даурская, или Гмелина (*Larix gmelinii* Rupr. = *L. dahurica* Turcz.). Часто в составе древостоев встречается береза, сосна представлена слабо, а чистые сосняки весьма редки.

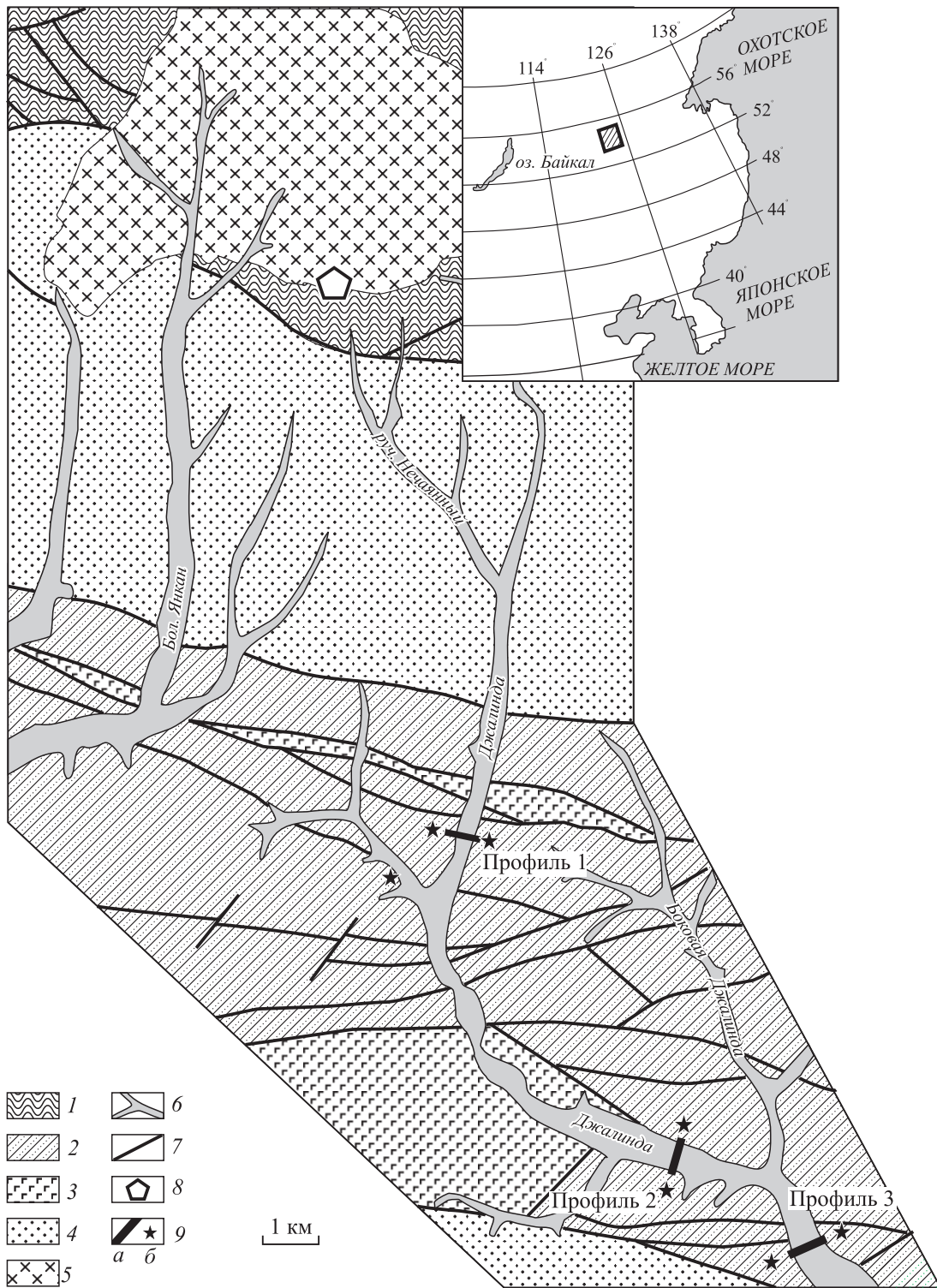


Рис. 1. Схема бассейна верхнего течения р. Джалинды.

1 — глубоко метаморфизованные докембрийские (?) комплексы окраины Сибирского кратона; 2 — среднепалеозойские (?) образования Монголо-Охотского складчатого пояса (метавулканиды основного состава, метакремни, метаграувакки); 3 — среднепалеозойские (?) метагаббро и метаультрабазиты офиолитового комплекса; 4 — средне-верхнеюрские конгломераты и песчаники; 5 — раннемеловые гранодиориты, кварцевые диориты Джалиндинского массива; 6 — верхнечетвертичные отложения речных долин; 7 — главные разломы; 8 — расположение отвалов обогатительной фабрики месторождения Кировское (Джалиндинское); 9 — расположение участков отбора образцов почв по профилям в пределах техногенного воздействия (а) и вне зон отработок (б). На врезке заштрихованным прямоугольником показано положение исследуемого участка.

Сложный рельеф территории отражается и на растительном покрове. Каждой части склона (в зависимости от крутизны и экспозиции) соответствуют свои биогеоценозы. Наиболее распространенные типы леса — лиственничник брусничный и лиственничник багульниковый [14, 15], которые представлены на бортах долины вне зоны деятельности предприятий золотодобычи.

Лиственничник брусничный — наиболее распространенный тип леса на хр. Янкан и его многочисленных отрогах, где он занимает склоны всех экспозиций. Лес расположен на ровном световом склоне с вогнутостями глубиной до 1,5 м. Встречаются промоины, заросшие полукустарниками и травами со слоем подстилки 3–5 см. Почвы — горные буротаежные. Травяной покров средней густоты распределен равномерно и представлен несколькими видами, среди которых преобладает брусника; к ней примешиваются вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin), мышиный горошек (*Vicia cracca* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), грушанка (*Pyrola rotundifolia* L. — *P. incarnate* (DC) Freyn).

Лиственничник багульниковый встречается часто в верховьях рек, обычно приурочен к пологим тенивым склонам, террасам речной долины. Для этого типа леса характерно распространение в травяном покрове багульника. Почвы мерзлотно-таежные. Моховой покров местами достигает 12 см. Основной вид, формирующий древостой, — лиственница даурская. Подлесок развит слабо. В небольших количествах встречаются кустарники: береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.), ивы (козья и др.) (*Salix caprea* L.), можжевельник даурский (*Juniperus dahurica* Pall.). Травяной покров распределен неравномерно и представлен в основном багульником болотным (*Ledum palustre* L.) и брусникой (*Vaccinium vitis-idaea* L.), встречаются также вейник (*Calamagrostis langsdorffii* (Link) Trin), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub.), осока серповидная (*Carex falcate* Turcz.).

Растительный покров в днище долины реки, где в течение длительного времени проводилась добыча россыпного золота, весьма разнообразен. Здесь можно наблюдать участки с техногенным рельефом различного возраста и разновременных стадий зарастания. Практически на протяжении всех трех профилей имеется травянистая растительность (см. рис. 1). Наименьшее самозарастание наблюдается в двух точках профиля 1. Травяной покров сильно разрежен, растения распространены неравномерно — куртинами и пятнами.

Видовой состав древесных растений в днище долины более разнообразный, чем на бортах. При этом трудно установить доминирующий вид. Кроме ив, которые первыми появляются при зарастании отвалов и довольно многочисленны, можно выделить тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch.), черемуху обыкновенную (*Padus avium* Mill.), дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), осину (*Populus tremula* L.), различные виды берез, которые произрастают небольшими куртинами. Эти участки чередуются с безлесными открытыми участками плохо зарастающих крупногалечных и валунных отвалов. Необходимо отметить, что основная часть древесных пород не является представителями той лесной области, в которой находится данный техногенный ландшафт. В основном это адвентивные растения, которые смогли приспособиться к условиям техногенной среды.

Для исследования растения отбирались на трех профилях в бортах долины р. Джалинды, отстоящих друг от друга на несколько километров (см. рис. 1). Общее количество проб в пределах каждого профиля составляло 5–6, при этом крайние точки всех профилей располагались на бортах долины, а остальные в пределах ее днища. В точках отбора травянистый покров сильно разрежен, поэтому бралась объединенная проба из разных видов травянистых растений, причем надземная часть растения отбиралась целиком, исключая нижние листья и часть стебля, загрязненные минеральными частицами почв.

Подготовка проб почв к определению элементного состава производилась по стандартной методике [16]. Вскрытие проб растительности и почв для определения валового состава элементов выполнено в микроволновой системе разложения Mars 5 (CEM Corporation, USA). При разложении растительных образцов к 0,5 г воздушно-сухой растительной биомассы, помещенной в тефлоновый реактор, вливалось 10 мл HNO_3 . Обработка реакторов в микроволновой печи проводилась в течение 10 мин.

В настоящее время для научных исследований используются различные методы химического анализа. Однако для экологических исследований наиболее широко применяются метод атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмой (ICP-AES) и индуктивно связанная плазменная массовая спектрометрия (ICP-MS). Эти два метода достигают высокой степени чувствительности для большинства химических элементов. Анализ элементного состава образцов растительности выполнен сочетанием методов ICP-AES, ICP-MS в лаборатории аналитической химии Дальневосточного геологического института ДВО РАН (Владивосток).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Вариации содержаний тяжелых металлов в растениях обусловлены действием различных факторов, главным образом условиями произрастания растений. Для выявления общих закономерностей накопле-

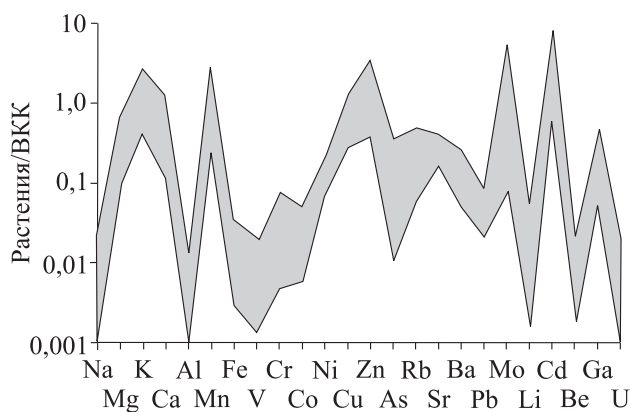


Рис. 2. График распределения элементов в растительности долины р. Джалинды. Использован состав верхней континентальной коры по [18, 19].

построены мультиэлементные диаграммы; в качестве нормирующего фактора использовано среднее содержание элементов в верхней части земной коры, по С. Тейлору и С. Макленнану [18, 19].

Построенный нами мультиэлементный график, характеризующий состав растений изучаемой территории, представлен на рис. 2. Как установлено, в растениях концентрации таких элементов, как К, Са, Zn, Mn, Cu, Мо (пики концентраций выше единицы), значительны. Часть из них (К, Са, Zn) входят в группу элементов сильного биологического накопления в соответствии с классификацией А. И. Перельмана [17]. Появление в этой же группе Mn, Cu, Мо можно объяснить повышенным содержанием подвижных форм этих элементов в почвах изучаемого района.

В интервале значений от 1,0 до 0,1 лежат пики Mg, As, Rb, Sr, Ni, Ba, Ga. Большая часть перечисленных элементов входит в группу элементов среднего биологического захвата [17]. Магний, относящийся к элементам сильного биологического накопления, в растениях находится в некотором дефиците, что можно объяснить незначительным количеством его подвижных форм в почве. В интервале ниже 0,1 находится группа элементов (Al, Fe, V, Cr, Li, Be, U), которая практически полностью совпадает с группой элементов слабого и очень слабого биологического захвата [17].

Величина отношения концентраций элемента в растениях и в литосфере не является постоянной, а колеблется в определенных пределах. Таким образом, используя классификацию [17], можно составить ряды биологического поглощения элементов для изучаемого объекта — растений долины р. Джалинды (табл. 1). Необходимо отметить, что представленная классификация не отражает особенностей и уровней загрязнения растений.

Для оценки состояния растительного травянистого покрова долины р. Джалинды рассчитан суммарный показатель загрязнения: $СПЗ = \sum C_i / C_{fi}$, где C_i — содержание i-го элемента в растительном образце; C_{fi} — его фоновое содержание на бортах долины.

Как следует из полученных данных (табл. 2), растения днища долины реки характеризуются более высокой степенью загрязнения по сравнению с растениями бортов долины. Отметим также тенденцию уменьшения суммарного показателя загрязнения вниз по долине от первого профиля к третьему. Подобная закономерность прослеживается и для бортов долины реки. Для выявления особенностей и уровня загрязнения растений элементами первого, второго и третьего классов опасности данные сведены в табл. 3.

Для уточнения характера загрязнения растительности нами рассчитаны средние значения коэффициента контрастности содержаний: $КК = C_{то} / C_{ф}$, где $C_{то}$ — концентрация элемента в растении в точке опробования, мкг/г; $C_{ф}$ — концентрация элемента в растении для незагрязненных участков (фон), мкг/г.

Исходя из динамики изменения концентрации элементов от профиля 1 к профилю 3, можно выделить две группы элементов. В первой группе, в которую входят As, Cu, Pb, Мо, четко прослежива-

Таблица 1

Ряды биологического поглощения элементов, выявленные для растительности долины Джалинды

| Элементы | Степень поглощения | Коэффициенты биологического поглощения | | | |
|---------------------------|-----------------------|--|---|-----|------------|
| | | 10n | n | 0,n | 0,0n–0,00n |
| Биологического накопления | Сильное | К, Са, Zn, Mn, Cu, Мо, В | | | |
| Биологического захвата | Среднее | Mg, As, Rb, Sr, Ba, Ni, Ga | | | |
| | Слабое и очень слабое | Al, Fe, V, Cr, Co, Li, Cs, Be, Pb, U, Th, Na, Ag, Se, Cd | | | |

Суммарный показатель загрязнения растительности долины Джалинды

| Профиль | Днище долины | Борта долины |
|---------|--------------|--------------|
| 1 | 11,33–26,95 | 9,23–13,45 |
| 2 | 8,68–16,73 | 9,12–11,96 |
| 3 | 3,79–7,16 | 6,64–7,12 |

ется тенденция уменьшения их концентрации. Так, средние значения коэффициентов концентрации для мышьяка последовательно уменьшаются: 17,4 (профиль 1)–0,86 (профиль 2)–0,75 (профиль 3); для свинца соответственно 2,31–1,9–1,69 и молибдена — 16,02–2,17–1,28. Отметим также, что особенно значительное уменьшение содержания этих элементов прослеживается от профиля 1 к профилю 2, при этом коэффициенты концентраций их очень высоки. Во второй группе, в которую входят Cr, Mn, Co, Ni, Zn, элементы во всех профилях распределены равномерно, а коэффициенты концентрации не превышают 2. Например, для кобальта коэффициенты концентрации от профиля 1 к профилю 3 представлены следующим рядом значений: 1,62–0,71–0,91, а для никеля: 1,86–1,51–1,54.

Широкий диапазон колебаний содержания тяжелых металлов в растениях обусловлен действием различных факторов, главные из которых — концентрации этих элементов в почвах, почвогрунтах и материнских породах. Почвы днища долины р. Джалинды, испытавшие длительную и интенсивную техногенную нагрузку в результате освоения месторождения россыпного золота, характеризуются весьма сложным химическим составом. Поскольку этот вопрос достаточно подробно рассмотрен ранее [20, 21], остановимся лишь на особенностях состава этих почв.

Для уточнения характера загрязнения почв нами рассчитаны коэффициенты концентрации (Кк) — отношение содержания микроэлементов в почве к условному кларку элемента в верхней части континентальной коры, по [18, 19]. Повышенные концентрации в почвах днища долины Джалинды таких элементов, как Co, Ni, Cr, в меньшей степени — Mn, отражают минералого-геохимические особенности коренных пород, в которых широко распространены хромит, оливин, орто- и клинопироксены. С другой стороны, положительные аномалии в почвах Cu, Pb, Mo, As, по-видимому, связаны с процессами разрушения раннемеловых гранитоидов, содержащих кварц-сульфидное оруденение, как в виде естественных геологических объектов, так и отвалов горнорудного производства, возникших при эксплуатации золоторудного месторождения (верховья Джалинды). При этом ассоциация химических элементов соответствует набору сульфидных минералов, содержащихся в рудах (халькопирит, пирротин, арсенопирит, галенит, молибденит и др.).

Этот вывод подтверждается характером распределения элементов в почвах вдоль долины реки. В частности, коренные породы оказывают равномерное влияние на состав почв долины в целом, а золоторудный источник обуславливает локальное, но весьма интенсивное загрязнение почв участка, наиболее приближенного к месторождению и горно-обогатительному комбинату, причем его роль вниз по долине резко снижается.

Нетрудно заметить, что разделение элементов на две группы по характеру распределения на изучаемой территории полностью совпадает с ассоциациями элементов-загрязнителей почв, характерных для коренных пород (Cr, Mn, Co, Ni, Zn), и элементов, характерных для гранитоидов и околорудных пород Джалиндинского рудного месторождения.

Следовательно, загрязнение растительности долины р. Джалинды в целом повторяет пространственную структуру и особенности загрязнения почв и почвогрунтов рассматриваемой территории. К основным элементам-загрязнителям растительности относятся As, Cu, Pb, Mo, источниками которых служат руда, околорудные породы и отвалы обогатительной фабрики Джалиндинского месторождения золота. Для этой группы элементов характерна наиболее высокая степень их концентрации в растительности. Кроме того, незначительный вклад в общее загрязнение вносят Cr, Mn, Co, Ni, Zn, входящие в состав коренных пород, распространенных в пределах изучаемой территории.

Таблица 3

Содержание (мкг/г) токсичных элементов в растениях днища долины Джалинды

| Элемент | Фоновое содержание элемента | Профили | | |
|---------|-----------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Cr | 2,98 | 4,06–6,24 | 0,7–27,6 | 1,68–2,81 |
| Mn | 415 | 119–234 | 349–837 | 216–685 |
| Ni | 5,0 | 3,0–12,3 | 3,36–9,7 | 6,09–9,6 |
| Co | 0,57 | 0,5–1,16 | 0,33–0,49 | 0,32–0,9 |
| Cu | 12,01 | 24,33–30,33 | 13,0–16,7 | 21,1–31,1 |
| Zn | 61,6 | 90,7–126,7 | 127,8–452 | 55,8–111,8 |
| Mo | 0,5 | 6,84–10,3 | 0,83–1,46 | 0,31–1,29 |
| As | 0,21 | 3,23–3,99 | < 0,002–0,42 | < 0,002–0,59 |
| Pb | 0,95 | 1,02–1,24 | 0,73–1,13 | 0,61–1,01 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Мирзеханова З. Г., Шлотгауэр С. Д.** Анализ экологической обстановки при разработке россыпных месторождений // География и природ. ресурсы. — 1991. — № 2. — С. 56–63.
2. **Мирзеханова З. Г.** Ресурсоведение: Курс лекций. — Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 2003. — 363 с.
3. **Ковалевский А. Л.** Биогеохимия растений. — Новосибирск: Наука, 1991. — 294 с.
4. **Ильин В. Б., Степанова М. Д.** Распределение свинца и кадмия в растениях пшеницы, произрастающей на загрязненных этими металлами почвах // Агрохимия. — 1980. — № 5. — С. 114–120.
5. **Гармаш Г. А., Гармаш Н. Ю.** Влияние тяжелых металлов, внесенных в почву с осадком сточных вод, на урожайность и качество продукции // Агрохимия. — 1989. — № 5. — С. 84–87.
6. **Калашникова З. В.** Накопление кобальта и кадмия в урожае некоторых сельскохозяйственных культур при облучении растений на почвах, загрязненных тяжелыми металлами // Агрохимия. — 1991. — № 9. — С. 77–82.
7. **Гармаш Г. А.** Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях вокруг металлургических предприятий: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Новосибирск, 1985. — 25 с.
8. **Никифорова Е. М.** Свинец в ландшафтах придорожных экосистем // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. — М.: Наука, 1981. — С. 220–229.
9. **Лукашев В. К., Симуткина Т. Н.** Особенности распределения и формы соединений микроэлементов в почвах крупного промышленного города // Почвоведение. — 1984. — № 4. — С. 43–52.
10. **Рождественская Т. А.** Тяжелые металлы в почвах и растениях юго-западной части Алтайского края: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Барнаул, 2003. — 29 с.
11. **Радомская В. И., Радомский С. М., Юсупов Д. В., Моисеенко В. Г.** Биоаккумуляция благородных металлов растениями // Докл. РАН. — 2003. — Т. 388, № 1. — С. 93–96.
12. **Коваль А. Т., Павлова Л. М., Радомская В. И. и др.** Ртуть в экосистемах Приамурья // Вестн. ДВО РАН. — 2004. — № 4. — С. 94–103.
13. **Стеблевская Н. И., Медков М. А., Молчанов В. П. и др.** Изучение биогеохимического накопления микроэлементов в почвах и растениях Дальнего Востока // Вестн. ДВО РАН. — 2006. — № 2. — С. 57–63.
14. **Панарин И. И., Митрофанов Д. П., Исаева Л. Н.** Горные леса зоны БАМ. — Новосибирск: Наука, 1980. — 224 с.
15. **Агеенко А. С., Васильев Н. Г., Глоба-Михайленко Д. А., Холявко В. С.** Древесная флора Дальнего Востока. — М.: Лесн. пром-сть, 1982. — 224 с.
16. **Долежал Я., Повондра П., Шульчек З.** Методы разложения горных пород и минералов. — М.: Мир, 1968. — 276 с.
17. **Перельман А. И., Касимов Н. С.** Геохимия ландшафта: Учеб. пособие. — М.: Астрей, 2000. — 768 с.
18. **Taylor S. R., McLennan S. M.** The geochemical evolution of the continental crust // Rev. Geophys. — 1995. — Vol. 33. — P. 241–265.
19. **McLennan S. M.** Crustal heat production and the thermal evolution of Mars // Geophys. Res. Lett. — 2001. — Vol. 28 (21). — P. 4019–4022.
20. **Сорокина О. А., Киселев В. И.** Анализ химического состава почв долины р. Джалинда // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2006. — № 4. — С. 425–432.
21. **Сорокина О. А., Киселев В. И.** Загрязнение почв в зоне освоения Джалиндинского россыпного и рудного месторождений золота в Приамурье // Экология и промышленность России. — 2005. — № 7. — С. 24–28.

*Институт геологии и природопользования
ДВО РАН, Благовещенск*

*Поступила в редакцию
25 ноября 2008 г.*