

ШТЕЛЬМАХ Светлана Ивановна

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ
КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ
(ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)**

25.00.08 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук**

**ИРКУТСК
2010**

Работа выполнена в Аналитическом центре Института земной коры СО РАН.

Научный руководитель:

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Рященко Тамара Гурьевна

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор
Ольховатенко Валентин Егорович

Кандидат географических наук
Рыжов Юрий Викторович

Ведущая организация:

**Иркутский государственный технический
университет.**

Защита состоится 20 апреля 2010 года в 9 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, конференц-зал.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу учёному секретарю совета к.г.-м.н. Л.П. Алексеевой. Тел.: (3952) 42-27-77, fax: 42-69-00, e-mail: [**lalex@crust.irk.ru**](mailto:lalex@crust.irk.ru)

Автореферат разослан 17 марта 2010 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Л.П. Алексеева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. На современном этапе развития грунтоведения инженерно-геологическая оценка грунтов рассматривается как анализ открытой природно-техногенной системы, основными структурными элементами которой являются информационные блоки о составе, микроструктуре, состоянии и различных свойствах. Микроэлементный состав грунтов при их инженерно-геологической оценке практически не изучается, несмотря на то, что эта информация является очень важной наряду с данными по гранулометрии, минералогии и содержанию порообразующих оксидов и относится к разряду корреляционно-генетических критериев грунтовых толщ. Кроме того, микроэлементы играют роль диагностического фактора, определяющего степень техногенного воздействия на исследуемые дисперсные грунты, что является необходимым условием при проведении геоэкологических исследований на урбанизированных территориях.

Объектами исследований являются лёссовые и глинистые грунты опорных инженерно-геологических разрезов мощностью 15–20 м: «Маршал» (г. Иркутск); «Студгородок» (г. Иркутск); «Солнечный» (г. Иркутск); «Саянск», а также образцы почв г. Братска. Кроме того, изучены грунты территории перспективной застройки пос. Могойтуй (Забайкалье), образцы которых были отобраны из 8 скважин глубиной до 10 м и естественных обнажений. Для сравнения исследованы разрезы из района г. Биробиджан, вскрывающие тиксотропные глины, а также изучены дисперсные грунты района Приморья из коллекции Н.И. Беляниной.

На ключевых участках в Тункинской и Баргузинской впадинах объектами исследования явились лёссовые, глинистые и песчаные отложения различных геолого-генетических комплексов, а также разновозрастные погребённые почвы. Образцы были отобраны из естественных обнажений в интервале глубин от 0,5 до 4,0 м.

Цель диссертационной работы состоит в изучении возможности использования микроэлементного состава природных дисперсных грунтов в качестве критерия при их инженерно-геологической оценке, а также для решения некоторых геоэкологических вопросов.

Основные задачи исследований: 1) определить содержания микроэлементов в дисперсных грунтах ключевых участков методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (РФА); 2) изучить характер распределения микроэлементов в инженерно-геологических разрезах лёссовых и глинистых грунтов; 3) проанализировать полученные по инженерно-геологическим разрезам данные с помощью программ «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ», использовать эту информацию для характеристики концентраций различных микроэлементов, оценки их взаимосвязей, а также для выделения геолого-генетических комплексов грунтов; 4) установить микроэлементный состав лёссовых и глинистых грунтов различных геолого-генетических комплексов и связанных с ними разновозрастных погребённых почв, рассматривая эти данные в качестве генетического критерия (на примере ключевых участков в Тункинской впадине); 5) изучить содержание микроэлементов в песчаных грунтах, представленных связными (облессованными) разновидностями (на примере ключевых участков в Баргузинской впадине); 6) определить роль микроэлементного состава природных дисперсных грунтов при их инженерно-геологическом (корреляционно-генетические построения) и геоэкологическом (оценка концентрации токсичных элементов и биогеохимического потенциала) изучении.

Исходные материалы и личный вклад автора.

Фактологической базой диссертационной работы являются материалы, полученные в результате аналитических исследований микроэлементного состава и содержаний некоторых порообразующих оксидов в образцах дисперсных грунтов, их анализ с помощью различных компьютерных программ, опубликованные литературные данные, связанные с темой диссертации. Использованы материалы комплексных исследований, проведённых в грунтоведческой группе Аналитического центра ИЗК СО РАН, данные отчёта Центра геолого-экологических исследований (ЦГЭИ) Иркутского государственного технического университета, составленного А.В. Самусенко в 2001 г., а также коллекции образцов дисперсных грунтов Т.Г. Рященко (ИЗК СО РАН), И.И. Крапивиной (Братский государственный университет), Н.И.

Беляниной (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток), В.И. Коломийца (Институт геологии СО РАН, Улан-Удэ).

В процессе научной работы автор выполнил следующий комплекс исследований, направленный на решение поставленных задач: 1) количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ 296 образцов дисперсных грунтов (6512 элемент/определения) и 20 образцов их глинистых ($< 0,001$ мм) фракций (360 элемент/определения); 2) проведена статистическая обработка полученных аналитических данных: установлены средние значения концентрации микроэлементов и пределы их изменения, по величине коэффициента вариации выделены группы компонентов, имеющих различный тренд (степень изменчивости) при их распределении в вертикальном разрезе толщи и в зависимости от генетической принадлежности грунтов; 3) построены графики зависимости концентраций микроэлементов от глубины отбора образцов (инженерно-геологические разрезы) и содержаний оксидов железа и кальция, диаграммы распределения микроэлементов в дисперсных грунтах различных геолого-генетических комплексов; 4) построены дендрограммы R- и Q- типа, где выявлены корреляционные связи между микроэлементами, а также произведено группирование образцов грунта; 5) проведён сравнительный анализ по концентрациям токсичных элементов в почвах г. Братска и грунтовых толщах урбанизированных территорий (Иркутск, Саянск), выявлен уровень биогеохимического потенциала лёссовых, глинистых и песчаных грунтов.

Методы исследований. При выполнении диссертационной работы использованы методики количественного рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, разработанные А.Г. Ревенко с сотрудниками рентгеновской группы Аналитического центра ИЗК СО РАН.

Применение программ «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ» позволило определить особенности распределения микроэлементов в дисперсных грунтах, выявить корреляционные связи между определёнными химическими элементами, произвести классификации образцов различного генезиса с учетом их микроэлементных составов.

Одним из методических приёмов явился сравнительный анализ микроэлементного состава исследованных образцов дисперсных грунтов (в том числе почв) с опубликованными материалами по другим регионам (Приморье, Центральное Черноземье).

Научная новизна выполненной работы заключается в следующем: 1) впервые с помощью современного метода – количественного рентгеноспектрального флуоресцентного анализа получены данные о содержании и распределении 18 микроэлементов в лёссовых и глинистых толщах инженерно-геологических разрезов, расположенных на урбанизированных территориях (Иркутск, Саянск) и незастроенных участках (Могойтуй, Биробиджан); установлено влияние гранулометрического, минерального и химического (содержание оксидов железа и кальция) составов грунтов на концентрации микроэлементов; 2) на основе статистической обработки аналитических данных, анализа изменчивости концентраций элементов в вертикальных разрезах грунтовых толщ и применения программы «Кластер-анализ» установлены закономерности распределения микроэлементов и проведена количественная оценка их взаимосвязей; 3) изучено содержание микроэлементов в лёссовых (с разновозрастными горизонтами погребённых почв) и глинистых грунтах различных геолого-генетических комплексов, распространённых в пределах Тункинской впадины (ключевые участки), и выявлена роль различных микроэлементов в качестве их стратиграфо-генетического критерия; 4) впервые установлен микроэлементный состав особой разновидности песчаных отложений – связных (облессованных) песков, распространённых в пределах Баргузинской впадины; 5) определена роль микроэлементного состава дисперсных грунтов при их инженерно-геологической оценке, приведена характеристика концентрации токсичных элементов и биогеохимического потенциала этих грунтов.

Основные защищаемые положения.

1. Микроэлементный состав дисперсных грунтов рассматривается как один из корреляционно-генетических критериев их инженерно-геологической оценки, о чём свидетельствуют установленные закономерности изменчивости концентраций микроэлементов и их взаимосвязей для каждого геолого-генетического комплекса отложений исследуемых опорных разрезов.

2. Содержания микроэлементов в лёссовых, глинистых и песчаных грунтах с горизонтами погребённых почв играет роль стратиграфо-генетического критерия, что установлено при изучении различных по возрасту и генезису отложений, распространённых в пределах Тункинской и Баргузинской впадин; особенно чёткие критерии имеют разновозрастные погребённые почвы, а также связные (облессованные) пески.

3. При инженерно-геологических и геоэкологических исследованиях микроэлементный состав природных дисперсных грунтов исполняет роль генетических корреляторов и отражает, с одной стороны, степень их загрязнения, с другой – величину биогеохимического потенциала грунтов.

Практическое значение работы. Полученные в результате исследований материалы свидетельствуют о возможности использования микроэлементного состава дисперсных грунтов в качестве критериев их инженерно-геологической оценки. Кроме того, с точки зрения геоэкологических аспектов проблемы выявлено состояние дисперсных грунтов урбанизированных территорий и участков за их пределами в отношении концентраций токсичных и полезных элементов. Так, установлен положительный биогеохимический потенциал лёссовых и глинистых грунтов, а также связных (облессованных) песков Тункинской и Баргузинской впадин, что позволяет использовать их как природные экологически чистые удобрения. Наибольшее содержание токсичных элементов (цинк, свинец, медь) зафиксировано в почвах г. Братска.

Апробация работы. Полученные результаты исследований докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-практических конференциях: научно-техническая конференции «Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований» (Иркутск, ИрГТУ, 2006–2009 гг.); юбилейная научная конференция, посвящённая 120-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина (23–25 октября 2007 года) (Томск, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2007 г.); XXI, XXII, XXIII Всероссийские молодёжные конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2005, 2007, 2009 гг.); V Всероссийская конференция по рентгеноспектральному анализу (Иркутск, ИЗК СО РАН, 2006 г.); международная научная конференция «Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых», посвящённая 100-летию со дня рождения академика НАН Беларуси К. И. Лукашёва (март 2007 г., Минск); международная научная конференция «Проблемы экологической геохимии в XXI веке», посвящённая 70-летию со дня рождения член-корреспондента НАН Беларуси В. К. Лукашёва (июнь, 2008 г., Минск).

Публикации. По результатам исследований автором лично и в соавторстве опубликовано 17 работ, из них две статьи в научных журналах из перечня ВАК и 10 статей в научных сборниках.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Объем работы 156 стр., в том числе 78 рисунков, 37 таблиц; список использованной литературы составляет 120 наименований.

Благодарности. Автор искренне благодарен и признателен научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Т.Г. Рященко за помощь и поддержку при выполнении работы, выражает благодарность доктору технических наук А.Г. Ревенко, кандидатам геолого-минералогических наук В.В. Акуловой и Н.Н. Уховой, чьи советы, участие и помощь способствовали выполнению работы, Е.В. Худоноговой за помощь в выполнении аналитических исследований, Т.Ф. Даниловой и М.В. Даниловой за выполнение грунтоведческих анализов дисперсных грунтов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. Современное состояние проблемы изучения микроэлементного состава дисперсных грунтов

Исследования микроэлементного состава дисперсных грунтов по ключевым участкам юга Восточной Сибири в рамках их инженерно-геологической оценки являются продолжением работ, начало которым было положено в 60-х, а затем 80-х годах прошлого века при развитии литогенетического направления в процессе региональных инженерно-геологических разработок (Гурьянова, 1963; Рященко, Пальшин, 1968; Рященко, 1984, 1988).

Большое внимание изучению микроэлементных составов исследуемых грунтов уделял В.К. Лукашёв в своих работах (Лукашёв, 1970; Лукашёв, Аношко, Вечер и др., 1978). В совместной статье К.И. Лукашёва и В.К. Лукашёва, опубликованной в Докладах Академии наук БССР еще в 1977 г., приводятся материалы по литогеохимическим характеристикам, связанным с инженерно-геологическими свойствами осадочных отложений (Лукашёв К.И., Лукашёв В.К., 1977).

На сегодняшний день инженерно-геологические изучения природных дисперсных грунтов проводятся практически без определения содержаний микроэлементов, об этом свидетельствует отсутствие раздела о микроэлементном составе грунтов в новейшем (пятом) издании учебника «Грунтоведение» (Грунтоведение, 2005), при комплексном изучении опорных инженерно-геологических разрезов лёссовых пород на территории СССР в 1985–1990 гг. в перечне обязательных определений показателей их состава, строения и свойств микроэлементный состав также не указан (Опорные инженерно-геологические разрезы ..., 2008).

При решении геоэкологических вопросов, связанных с геохимической функцией литосферы, изучение концентраций микроэлементов в грунтах является обязательным (Трофимов, 1997; Трофимов, Зилинг, 2002).

С 2000-х гг. начались геоэкологические исследования территории юга Восточной Сибири, области промышленных городов Ангарска, Братска (материалы из отчета В.Г. Рыбакова и др., 2000; Рященко, Крапивина, Акулова, 2006), а также регионов Западной Сибири (материалы докторской диссертации А.В. Вана «Экологические функции четвертичных покровных отложений Верхнего Приобья», 2005).

Зарубежными исследователями уделяется большое внимание техногенным загрязнениям урбанизированных территорий (Figueiredo, Enzweiler et al., 2009).

ГЛАВА 2. Методика изучения содержаний, распределения и взаимосвязей микроэлементов в дисперсных грунтах

В диссертационной работе широко применяется метод количественного спектрального рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), основным преимуществом которого является определение содержаний макро- и микроэлементов в исследуемых образцах без их разрушения, в отличие от атомно-эмиссионного и ICP MS методов.

Для современного состояния РФА характерно использование теоретически обоснованных способов перевода измеренных интенсивностей в концентрации элементов, высокая стабильность работы аппаратуры, экспрессность, необходимость минимальной пробоподготовки, возможность исследования твердых и жидких образцов. Определяемые содержания химических элементов составляют значения от нескольких ppm (ppm = 0,0001 %) до 100 %.

Концентрации порообразующих оксидов CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃(общее) и микроэлементов, в число которых входят V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Sn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, определялись в образцах дисперсных грунтов на энергодисперсионном спектрометре.

Используемые условия возбуждения спектра: рентгеновская трубка с Мо-анодом (высоковольтный источник питания ВВП 75–70 М), потенциал 55 кВ, сила тока 20 мА, экспозиция 1000 с.

Использовались линии К-серии спектра, как наиболее интенсивные, исключение составляет свинец, его определения производились по линии L_{α1}. Интенсивность фона оценивалась для участка спектра с интервалом энергий 20,5–21,5 кэВ. Обработка интенсивностей пиков произведена с помощью программы AXIL.

В калибровке спектрометра использовались стандартные образцы (СО) почв и различных отложений, в том числе и морских (Лончих, Петров, 1988; Govindaraju, 1994).

Определения содержаний Ba, Ce, La, Nd производились на рентгеновском спектрометре S4 PIONEER (Германия, фирма Брукер), который объединяет в себе аналитические возможности волнового дисперсионного рентгеновского спектрометра и сравнительно малые габариты. В качестве аналитических линий использовались линии L-серии.

Разработанные методики рентгенофлуоресцентного количественного анализа, реализованные с использованием энергодисперсионного и волнодисперсного рентгеновского

S4 PIONEER спектрометров, соответствуют I–III категориям точности и их можно рекомендовать для практического использования.

Обработка результатов анализа (РФА) исследуемых дисперсных грунтов произведена с помощью программы «Стандартная статистика» (Microsoft EXCEL) (Рященко, Клеерова, 2008).

В работе также применяется программа «Кластер-анализ» (Данилов, 2001).

ГЛАВА 3. Микроэлементы в лёссовых и глинистых грунтах (инженерно-геологические разрезы)

3.1. Разрезы «Маршал»

Изучены разрезы опорных скважин 1416а, 250а, 1437, 260 глубиной 20 м, пробуренных осенью 2005 г. в микрорайоне Солнечный г. Иркутска на площадке строительства жилого комплекса «Маршал». Здесь широко развиты циклично построенные лёссовые толщи, залегающие на глинистом аллювии, для которых ранее были выполнены комплексные исследования состава, микроструктуры и различных свойств (Рященко, Ухова, 2008).

В 47 образцах грунтов, отобранных из представленных выше скважин, определялись содержания породообразующих оксидов CaO , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 (общее), а также концентрации 18 микроэлементов, в том числе и токсичных.

Проведённый статистический анализ полученных концентраций микроэлементов выявил относительно однородный характер их распределения в вертикальном разрезе грунтовых толщ – в большинстве случаев коэффициент вариации ($V_{\text{вар.}}$) составляет менее 30 %.

Особое внимание мы уделили изучению токсичных элементов – Co, Cu, Zn, Ni, Pb, As, Sn. Поскольку в скв. 1416а, 250а, 1437 вскрыт современный техногенный комплекс отложений, существует большая вероятность нахождения в нем концентраций токсичных компонентов, способных перемещаться вглубь грунтовых толщ и накапливаться в определенных слоях (Рященко, Штельмах, 2007).

Используя средние значения содержаний (ppm) семи токсичных элементов, можно рассчитать их сумму для каждой скважины: 1416а – 249, 260 – 278, 250а – 247, 1437 – 253; в среднем для грунтов разрезов «Маршал» – 257 ppm.

Относительно однородное распределение токсичных элементов выявилось в разрезах скв. 250а, 1437 ($V_{\text{вар.}} < 30\%$). Наиболее характерные изменения концентраций в вертикальном разрезе грунтовых толщ установлены для Ni, Zn, Pb (рис. 1–3).

Максимальное содержание никеля (120 ppm) отмечено в лёссовидных суглинках скв. 250а на глубине 12 м, цинка (160 ppm), свинца (100 ppm) и мышьяка (23 ppm) – в глинистых

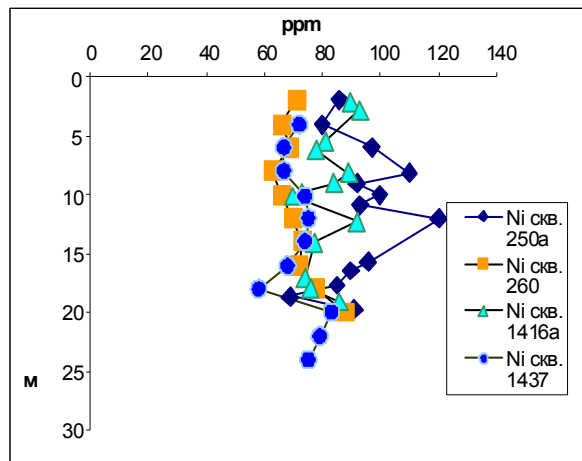


Рис. 1. Распределение никеля.

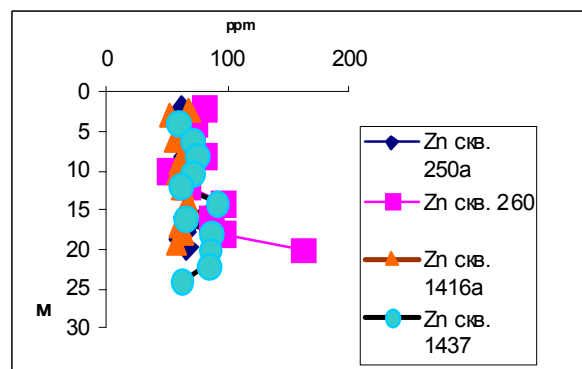


Рис. 2. Распределение цинка.

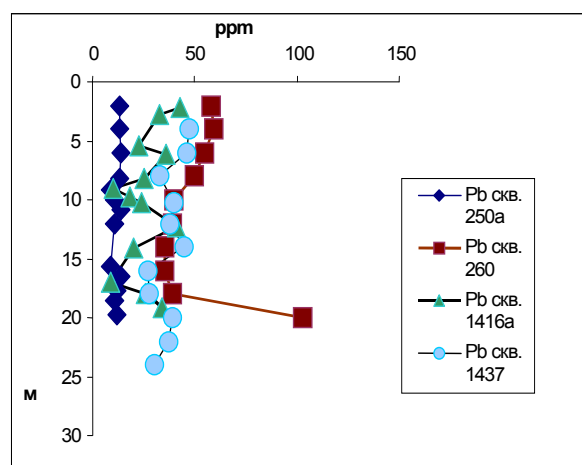


Рис. 3. Распределение свинца.

аллювиальных отложениях скв. 260 на глубине 20 м. Установлено также, что в отложениях скв. 260 наблюдаются повышенные концентрации свинца по сравнению с другими разрезами «Маршал».

В ходе проведённых сопоставлений установлена линейная зависимость концентраций кобальта от содержаний $\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{общ.})}$ в образцах аллювиальных глинистых и делювиальных лёссовых отложений, а также погребённых почвах.

С увеличением концентраций оксидов железа в погребённых почвах и аллювиальных глинистых отложениях снижается концентрация ванадия. Для хрома установлены сложные зависимости как в погребённых почвах, так и в отложениях различных геолого-генетических комплексов исследуемых разрезов.

При сравнительном анализе полученных дендрограмм R-типа наиболее сильные корреляционные связи между элементами выявлены в разрезе скв. 260, грунтовая толща которой содержит мощный слой (7,0 м) аллювиальных глинистых отложений (рис. 4). Отмечается существенная связь между V и Cr (коэффициент корреляции почти равен единице) и слабые взаимосвязи Ba с остальными микроэлементами.

На дендрограмме Q-типа (рис. 5) самостоятельное положение занимают два образца – глинистый аллювий (aQ_3) с глубины 20,0 м, обогащённый оксидами железа (11,36 %), содержащий высокие концентрации цинка и свинца, и лёссовый делювий (dQ_3^3) с глубины 10,0 м, в котором содержатся минимальные по данному разрезу концентрации V, Cr, Co, Zn, As и максимальные – Sr, Zr и Nb.

На графике можно увидеть две группировки образцов: первая представляет преимущественно делювиальный лёссовый комплекс, вторая – аллювиальный глинистый.

Анализ дендрограмм R-типа, выполненный по данным микроэлементного состава лёссовых и глинистых грунтов четырех разрезов «Маршал», показал различие взаимосвязей между элементами в зависимости от генетической принадлежности этих отложений. «Железистая» группа элементов (V, Cr, Co, Ni), присутствие которой связывается с условиями холодного аридного климата при формировании субэразального покрова на ангарских террасах (Рященко, 1984), не получила чёткой идентификации на представленных дендрограммах.

3.2. Разрезы «Студгородок»

Центром геолого-экологических исследований (ЦГЭИ) Иркутского государственного технического университета на площадке спорткомплекса ИрГТУ проводились инженерно-геологические изыскания по опорным скважинам, расположенным на левобережной третьей ангарской террасе. Грунтовые толщи разрезов скв. 1362, 1363, 1364 сложены преимущественно лёссовидными суглинками (dQ_3) мощностью до 15,0 м. Микроэлементный состав этих суглинков определялся для 25 образцов (скв. 1362 – 9, 1363 – 7, 1364 – 9).

В результате проведённого статистического анализа данных по концентрациям микроэлементов, в том числе и токсичных в большинстве случаев установлен однородный характер их распределения, исключением оказался свинец – ($V_{\text{вар.}} = 29\text{--}34\%$).

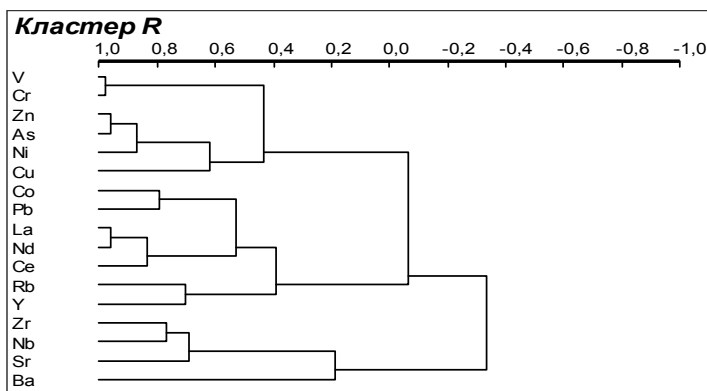


Рис. 4. Дендрограмма R-типа по данным микроэлементного состава дисперсных грунтов (скв. 260).

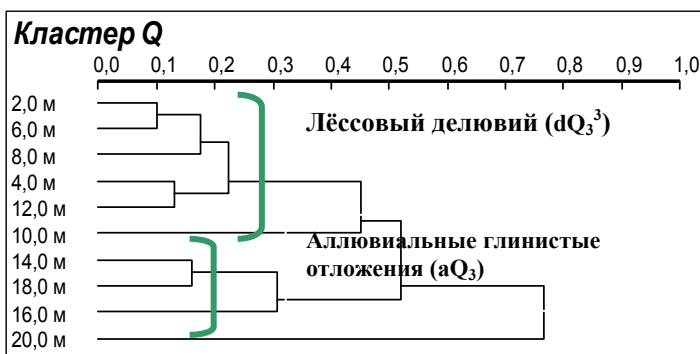


Рис. 5. Дендрограмма Q-типа по данным микроэлементного состава дисперсных грунтов (скв. 260).

Рассчитаны суммарные концентрации семи токсичных элементов (по их средним значениям (ppm)) для каждой скважины: 1362 – 246, 1363 – 256, 1364 – 275; в среднем для лёссовых грунтов разрезов «Студгородок» – 246.

Графики-дендрограммы R-типа показывают несколько иные группировки микроэлементов для лёссовидных суглинков изученных разрезов. Практически во всех случаях наблюдаются высокие коэффициенты корреляции (0,9–1,0) между некоторыми элементами группы железа, церием и неодимом, свинцом и мышьяком.

В качестве примера рассмотрим результаты по скв. 1362.

Анализ R-типа выявил три группы элементов: 1) V, Rb, Cu, Zn, Nb, Pb, As; 2) La, Ce, Nd, Cr, Ni, Ba, Sn; 3) Sr, Zr; кобальт и иттрий занимают самостоятельное положение; наблюдается положительная корреляционная связь между первой и второй группами, а также практически её отсутствие с элементами третьей (Sr и Zr) (рис. 6).

Анализ Q-типа распределил образцы по трём кластерам, при этом третий (глубины 5,5 м, 7 м, 10 м, 11,5 м и 8,5 м) оказался слабо

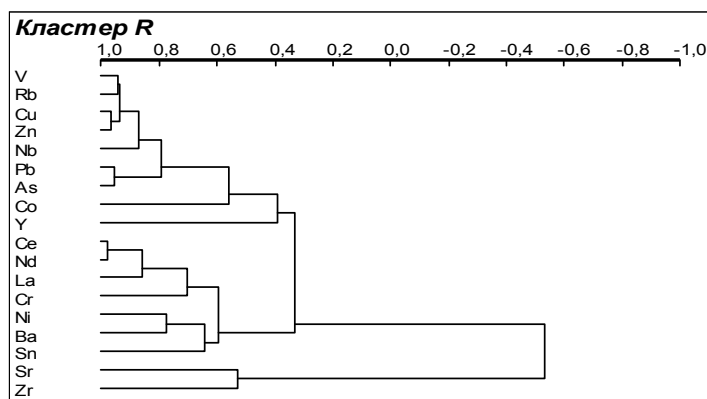


Рис. 6. Дендрограмма R-типа по данным микроэлементного состава лёссовых грунтов (скв. 1362).

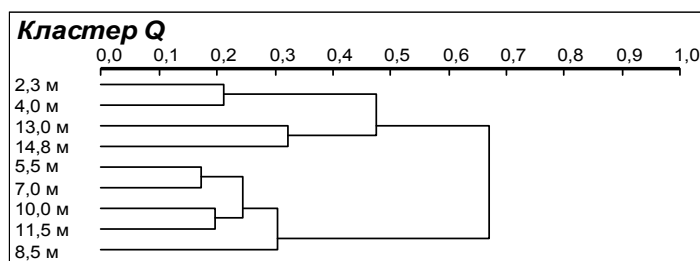


Рис. 7. Дендрограмма Q-типа по данным микроэлементного состава лёссовых грунтов (скв. 1362).

связанным с остальными (эвклидово расстояние 0,68) по причине высоких концентраций в указанных образцах V, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Rb и пониженных – Sr (рис. 7).

3.3. Разрез «Солнечный»

В микрорайоне «Солнечный» объектом исследования является разрез скв. 273, расположенной в пределах придолинного склона Ангары, и представленный делювиальными образованиями, залегающими на элювии юрских слаболитифицированных песчаников (e/J). Лёссовая толща составляет 20,5 м и подразделяется на три циклита: верхний (dQ_3^3 – интервал 0–11 м), средний (dQ_3^2 – 11–16,5) и нижний (dQ_3^1 – 16,5–20,5); включает две погребённые почвы (интервалы 11–12 м; 16,5–17,5 м). Всего исследовано 30 образцов: 11 – верхний циклит, 8 – средний, 5 – нижний, 6 – элювий юрских слаболитифицированных песчаников.

В лёссовых циклитах большинство микроэлементов распределены равномерно, за исключением Pb ($V_{\text{вар.}} = 30\text{--}55\%$), а также мышьяка (нижний циклит).

Совершенно иной характер распределения микроэлементов наблюдается в зоне элювия. По коэффициенту вариации (степени однородности распределения) их можно разделить на следующие группы: V, Ba, Sr ($V_{\text{вар.}} = 9\text{--}17\%$); Cr, Zr, Rb ($V_{\text{вар.}} = 20\text{--}23\%$); Nb, La, Ce, Nd ($V_{\text{вар.}} > 30\%$), токсичные элементы распределяются однородно.

Максимальные концентрации, как и в лёссовой толще, отмечены для Ba, Sr, Zr, однако здесь наблюдаются повышенные содержания лантаноидов – церия, лантана, неодима, а также иттрия, установлены несколько повышенные концентрации свинца и меди, пониженные – кобальта.

Суммарные концентрации токсичных элементов (ppm) составляют: верхний лёссовый циклит – 294, средний – 269, нижний – 265, глинистый элювий (на породах юрской угленосной формации) – 296; средняя суммарная концентрация элементов для всей толщи – 276 (несколько больше, чем в разрезах «Маршал» и «Студгородок»).

Чётко прослеживается сходство лёссовых грунтов и глинистого элювия (e/J) по содержанию цинка (средние значения 91–98 ppm) и характеру его распределения ($V_{\text{вар.}} = 14\text{--}16\%$). Можно считать этот элемент коррелятором связи лёссового покрова и материнского субстрата (это породы юрской угленосной формации).

Анализ R-типа выявил очень высокие корреляционные связи между Ce, Nd, La (0,97–1,0), а также V и Cu (0,90), но выделенные две группы элементов практически оказались не связанными между собой. Цинк занимает самостоятельное положение, поскольку уровень его корреляционной связи близок к нулю.

С помощью анализа Q-типа выделены две группировки образцов, слабо связанные между собой: первая представлена лёссовыми грунтами верхнего циклита и погребённой почвой (глубина образца 11,2 м), в которой содержатся минимальные концентрации (ppm) V (81), Cu (26), Sn (3) и максимальные Zr (310), Nb (21), вторая (наиболее многочисленная) включает лёссовые грунты всех трёх циклитов, образцы погребённых почв (глубина 16,7 м и 17,3 м), которые характеризуются низкими концентрациями (ppm) кобальта (3–10) и высокими – лантана (53–56), церия (72–73), и глинистый элювий.

Таким образом, при классифицировании образцов скв. 273 по данным их микроэлементного состава произошло выделение погребённых почв и глинистого элювия (образцы с глубины 21,6–27,5 м).

Изучено влияние содержаний породообразующих оксидов кальция, титана, железа и марганца на характер распределения микроэлементов в исследованных грунтах.

В лёссовых грунтах среднего циклита установлена зависимость между концентрациями V и содержаниями Fe_2O_3 (общее) близкая к линейной.

3.4. Разрезы «Могойтуй»

Для территории Забайкалья ключевым участком явился пос. Могойтуй, где в 2007 г. проводились инженерно-геологические изыскания для расширения зоны его застройки. В отличие от Приангарья с умеренно гумидным климатом Забайкалье характеризуется холодными аридными климатическими условиями с низкой влажностью воздуха и резкими колебаниями температуры. Эти особенности определяют слабое развитие процессов физико-химического выветривания пород, в результате чего наблюдается сходство химического состава материнского субстрата и элювиально-делювиальных отложений. В исследованном районе развиты породы верхнепротерозойской – нижнекембрийской метаморфической формации – сланцы слюдяные, кварцево-слюдяные, биотитовые и эпидот-биотит-амфиболовые, песчаники и кварциты; в составе четвертичного покрова отмечаются лессовидные отложения (Поршнева, 1976).

В грунтоведческой группе Аналитического центра ИЗК СО РАН проводились исследования состава, микроструктуры и некоторых свойств дисперсных грунтов.

На основании детального описания образцов исследуемых грунтов выделены два геолого-генетических комплекса отложений: делювиальный современный (dQ₄) и элювиальный нерасчлененный (элювиальная дисперсная зона сланцев – e/сл). Первый представлен супесями типичного лессовидного облика (ls) – палевого цвета, пылеватыми, карбонатными, с тонкими макропорами, с редкими включениями дресвы и мелкого щебня, второй – суглинками темно-коричневыми с характерной скорлуповато-плитчатой структурой (gln).

Как и в предыдущих разрезах, по максимальным содержаниям (ppm) на первом месте находится Ba (720–740), на втором – Sr (330–550), Zr (300–330), на третьем – V, Cr, Rb, Ce; максимальные концентрации остальных элементов, не превышают 50 ppm.

Следует отметить однородный характер распределения большей части элементов ($V_{\text{вар.}} = 8\text{--}16\%$), за исключением Sr в лессовидных супесях ($V_{\text{вар.}} = 43\%$).

Суммарное количество (ppm) токсичных элементов составляет в лёссовых грунтах (dQ₄) 165, глинистом элювии – 175 (в среднем 170).

3.5. Разрез «Саянск»

На территории г. Саянска, находящейся под негативным воздействием градообразующего предприятия «Саянскхимпласт», расположенного в 14 км от города, изучен разрез скв. 579 глубиной 13 м (7 образцов), представленный лёссовыми грунтами (это лессовидные суглинки) аллювиального современного комплекса (aQ₄).

В данном разрезе установлены некоторые отличительные особенности в распределении V, Cr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, La, Ce, Nd по сравнению с рассмотренными выше объектами, наблюдается неравномерное распределение ($V_{\text{вар.}} > 30 \%$) стронция, лантана, церия, неодима, кобальта, свинца, которое можно объяснить наличием разной среды (pH=6,8–8,1) в разрезе, а также различием в химических составах исследуемых грунтов.

Выявлены пониженные концентрации Co, Ni по сравнению с разрезами «Маршал» (Иркутск).

Рассчитанная суммарная концентрация (ppm) токсичных элементов составила 154, существенно ниже, чем в разрезах Иркутска.

3.6. Разрезы «Биробиджан»

В районе г. Биробиджана Центром геолого-экологических исследований (ЦГЭИ) ИргТУ проводились инженерно-геологические изыскания, в процессе которых по опорным скважинам были вскрыты глинистые тиксотропные грунты (озёрный палеоген-неогеновый комплекс), удерживающие большое количество воды.

Впервые изучался микроэлементный состав этих глин по 13 образцам. Кроме того, определялись концентрации микроэлементов для фракции $< 0,001$ мм, выделенной методом отмучивания из 9 образцов глин; для сравнения анализировались фракции дисперсных грунтов района Иркутска – 7 образцов (Штельмах, Данилова, 2008).

В целях установления степени накопления микроэлементов глинистыми фракциями были рассчитаны коэффициенты концентрации (S), представляющие отношение концентраций отдельных микроэлементов в глинистых фракциях ($K_{\text{фр}}$) к их содержанию в исследуемых грунтах ($K_{\text{гр}}$): $S = K_{\text{фр}} / K_{\text{гр}}$ (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты концентрации микроэлементов для иркутских лессовых грунтов (скв. 1416а – S1) и биробиджанских глин (скв. 1000 – S2)

Элементы Соотношение	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn
S1	1,3–1,5	1,2–1,3	0,8–1,0	1,6–1,8	1,6–2,0	1,5–1,6
S2	1,2–1,5	1,1–1,3	0,8–1,4	1,0–1,4	0,9–1,5	1,0–1,2
Элементы Соотношение	Pb	As	Ba	La	Ce	Nd
S1	0,8–0,9	–	0,4–0,5	1,9–2,0	1,2–1,7	1,6–2,0
S2	1,4–4,1	1,0–2,0	0,7–0,9	0,9–2,6	0,8–3,2	1,0–2,7

По данным микроэлементного состава и характеру взаимосвязей между элементами подтверждено особое стратиграфо-генетическое положение тиксотропных глин, которые не являются четвертичными образованиями, а принадлежат к более древним отложениям – озёрным фациям палеоген-неогена.

ГЛАВА 4. Микроэлементы в дисперсных грунтах различных геолого-генетических комплексов

В этой главе рассматриваются результаты изучения элементного состава дисперсных грунтов различных геолого-генетических комплексов на примере ключевых участков в Тункинской и Баргузинской впадинах. Установлены их общие особенности, зафиксированы критерии различия, связанные с принадлежностью отложений к определённым геолого-генетическим комплексам, литологическим группам и разновозрастным погребённым почвам, выполнена оценка концентраций вредных и полезных (с точки зрения экологической ситуации) микроэлементов.

4.1. Ключевые участки в Тункинской впадине

(лёссовые, глинистые, песчаные грунты, погребённые почвы)

Изучение состава, микроструктуры и свойств дисперсных грунтов проводилось в рамках инженерно-геологических и геоэкологических исследований, которые выполнялись при реализации регионального проекта «Цикличность эрозионно-аккумулятивных процессов и

трансформация эрозионной сети в Байкальском регионе». Исследования проводились в районе дд. Тунка и Еловка, а также в долине р. Еловка. (рис. 8).

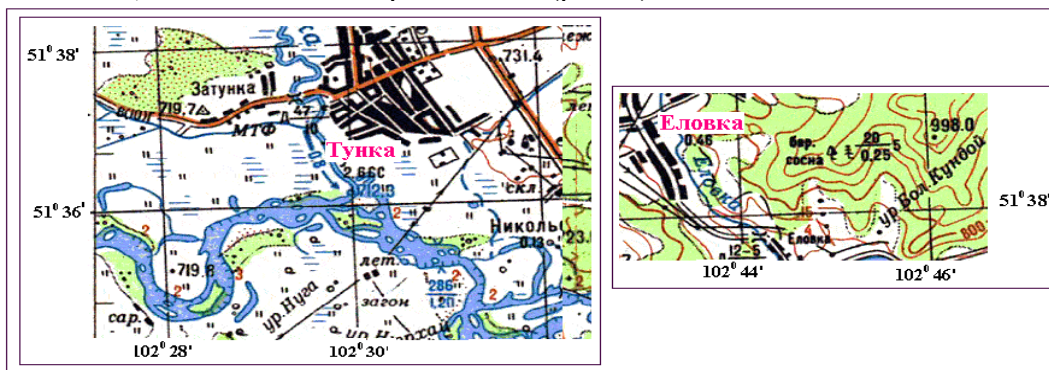


Рис. 8. Карта-схема расположения объектов исследования на территории Тункинской впадины.

Обследованы следующие ключевые участки: 1. действующий овраг в районе д. Тунка; 2. обнажение в уступе первой надпойменной террасы р. Еловки; 3. мелкие овраги по левому борту р. Еловка в пределах коренного (нетеррасированного) склона; 4. “гигантский” действующий овраг глубиной до 4–5 м на коренном склоне водораздела, сложенного граносиенитами; 5. небольшой овраг на водоразделе глубиной до 2,0 м, вскрывающий элювий граносиенитов; 6. старый шурф и карьеры в районе молодых вулканов.

На указанных участках проводилось опробование грунтовых толщ, которые были представлены различными геолого-генетическими комплексами, включающими лёссовые (ls), глинистые (gln) и песчаные (ps) отложения: dpQ-ls; dpQ₄-ls; lQ₄-gln; pN₂-gln; pQ₄-gln; aQ₄-gln; dQ₄-ls; e/γ- ps; vQ₄-ps*; vQ₃₋₄-ls; vQ₃-ls.

В некоторых разрезах зафиксированы и опробованы гумусированные горизонты погребённых почв, для которых получены абсолютные датировки их возраста.

По содержаниям микроэлементов Zr, Sr, Zn, As, Sn, Pb, Co, Ba, Ce в грунтовых толщах выделяются слои погребённых почв. Особенно хорошо заметно выделение молодого слоя погребённой почвы (интервал 0,6–0,7 м) в делювиально-пролювиальном четвертичном нерасчленённом комплексе (действующий овраг в районе д. Тунка).

Отмечено, что с увеличением абсолютного возраста слоев погребённых почв в них увеличивается содержание микроэлементов, в том числе и токсичных.

В отличие от погребённых почв, в эоловых лёссовых отложениях с возрастом концентрации Ce, V, As, Cr практически не изменяются, замечены незначительные колебания Sr, Rb, Ba. В пролювиальных отложениях с возрастом наблюдаются незначительные понижения концентраций Co, Ba, заметно возрастает концентрация Y. В делювиально-пролювиальных отложениях с возрастом сохраняются содержания As, Cr, Ce, V, происходит понижение концентрации Sr. Для Ba, Zn, Pb, Zr, Rb наблюдаются сложные колебания концентраций.

Особое место среди исследуемых грунтов Тункинской впадины занимали пески элювия граносиенитов. Выявлены разнородные химические составы песков элювиальной зоны граносиенитов, а также колебания концентраций микроэлементов Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Ce и токсичных микроэлементов, содержащихся в них.

В результате проведённого сравнительного анализа по концентрациям токсичных элементов в образцах дисперсных грунтов, распространённых в Тункинской впадине и на территории г. Иркутска (разрезы «Маршал»), выявлена более высокая степень загрязнения грунтов в пределах урбанизированных площадей.

4.2. Ключевые участки в Баргузинской впадине (песчаные грунты)

Песчаные грунты, для которых выполнялись исследования микроэлементного состава, относятся к особой разновидности лёссовых отложений – связным пескам, представляющим продукт воздействия процессов лёссового литогенеза преимущественно криогенного характера в постдиагенетическую стадию существования песчаных толщ (Рященко, 1988).

Установлены отличия химического состава, физических и физико-химических свойств этих образований по сравнению с «нормальными» песками (Рященко, Ухова, Акулова, 2005).

Ключевые участки, где проводился отбор образцов, расположены в Баргузинской впадине в районах дд. Сахули (1545), Могойто (1548), Элысун (1551) и Суво (1552), мощность разрезов составляла 3–4 м, в некоторых были вскрыты горизонты погребённой песчаной почвы.

Образцы включали связные (ps**), со следами связности (ps*) и нормальные (ps) пески различных геолого-генетических комплексов (aQ₄-ps*, aQ₃-ps*, ps**, ps, vQ₃₋₄-ps**, ps) (рис. 9).

Обнаружены низкие концентрации свинца (< 20 ppm) в образцах песчаных грунтов, пониженные содержания ванадия, хрома, никеля, кобальта по сравнению с дисперсными грунтами урбанизированных территорий г. Иркутска, а также отсутствие мышьяка в большинстве исследуемых образцов.

Небольшое количество мышьяка (4–8 ppm) установлено в связных песках современного (разрез 1545) и верхнечетвертичного (разрез 1548) аллювия, а также в нормальном песке верхнечетвертичного аллювиального комплекса (разрез 1551).

Песчаные отложения в большей степени обогащены барием и стронцием. Высокие содержания Ba и Sr связаны с химическим и гранулометрическим составами песчаных грунтов. Общее содержание карбонатов составляет 8,07–21,82 % (в среднем 12,78).

Установлены различия в микроэлементных составах песчаных отложений различных геолого-генетических комплексов.

На рис. 10–11 показано распределение микроэлементов в нормальных и связных эоловых песках, а также связных песках аллювиальных комплексов; построение графиков производилось по средним значениям содержаний микроэлементов

Наиболее отчетливо проявляется сходство в микроэлементном составе нормальных (ps) и связных (ps**) эоловых песков (видимо, процессы лёссового литогенеза здесь особых изменений не вызвали).

В аллювиальных связных песках (aQ₃) отмечаются более высокие концентрации ванадия, никеля и несколько пониженные – циркония. В молодых аллювиальных песках со следами облессования (aQ₄) наблюдаются повышенные концентрации хрома, никеля, лантана, церия, неодима.

На примере ключевых участков Тункинской и Баргузинской впадин выполнен сравнительный анализ микроэлементного состава лёссовых, глинистых и песчаных грунтов.

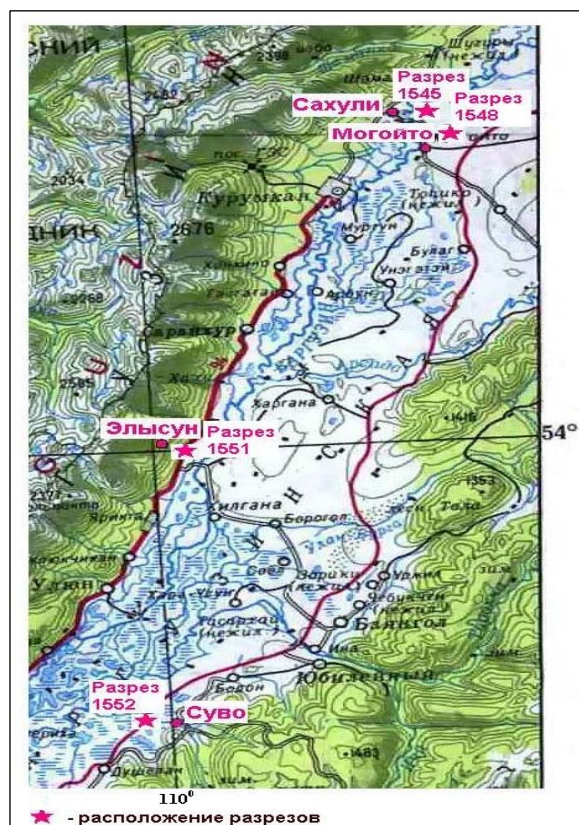


Рис. 9. Карта-схема расположения разрезов на территории Баргузинской впадины.

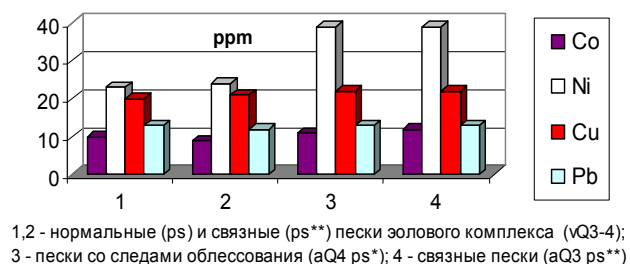


Рис. 10. Концентрации кобальта, никеля, меди, свинца в песчаных грунтах различных геолого-генетических комплексов.

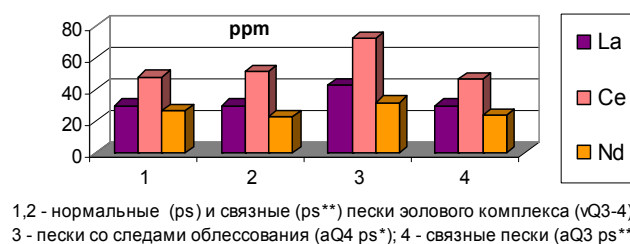


Рис. 11. Концентрации лантана, церия, неодима в песчаных грунтах различных геолого-генетических комплексов.

Установлены различия делювиально-пролювиальных и эоловых лёссовых отложений по содержанию Pb, озерных и делювиально-пролювиальных глинистых грунтов - по содержанию Ba, пролювиальных неогеновых и современных глинистых отложений – Ba, Ce, Co, Cr, Sn.

Для связных (облессованных) песков (Баргузинская впадина) выявлено обогащение барием и стронцием, что является следствием значительной карбонатизации – основного процесса лёссового литогенеза.

Чёткие критерии различия выявлены для связных песков аллювиального и эолового комплексов: в первом случае отмечается повышенные содержания V, Cr, Ni (группа железа), La, Nd.

ГЛАВА 5. Инженерно-геологические и геоэкологические аспекты изучения микроэлементного состава дисперсных грунтов

5.1. Корреляционно-генетическая роль микроэлементов в дисперсных грунтах при их инженерно-геологической оценке

Известно, что микроэлементный состав грунтов при их инженерно-геологической оценке практически не изучается, несмотря на то, что эта информация позволяет решать задачи корреляционно-генетического характера при обосновании выделения различных геолого-генетических комплексов, а также при выявлении корреляций между микроэлементами и составом грунтов, что позволяет оценить риск геохимического загрязнения грунтовых толщ.

Основными носителями тяжелых металлов, согласно опубликованным данным, являются тонкодисперсные фракции четвертичных отложений (Добровольский, 2001). Наши исследования лёссовых (разрезы «Маршал») и глинистых (разрезы «Биробиджан») грунтов и их глинистых ($< 0,001$ мм) фракций это подтверждают. Следовательно, с возрастанием степени глинистости отложений увеличивается риск их загрязнения токсичными компонентами.

На концентрации микроэлементов в грунтах влияет не только количество фракции $< 0,001$ мм, но и ее минеральный состав. На основании изучения состава и содержания глинистых минералов фракции лёссовых грунтов (dQ_3) разрезов «Студгородок» (скв. 1364, образец с глубины 4 м) установлено преобладание смектита, и здесь же обнаружено максимальное содержание цинка (450 ppm), а также высокие концентрации других тяжелых металлов.

Таким образом, получается следующая цепочка взаимосвязей в рамках инженерно-геологической оценки дисперсных грунтов: геолого-генетический комплекс (ГГК) – литологические группы (ЛГ) – содержание оксидов железа и кальция (СОК) – содержание фракции $< 0,001$ мм (Mc) – минеральный состав этой фракции (присутствие глинистых минералов с различной адсорбционной способностью) (ГМ) – концентрация токсичных микроэлементов (КТЭ) – степень риска геохимического загрязнения толщи (СРГЗ) (рис. 12).

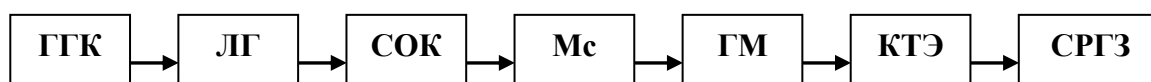


Рис. 12. Последовательность зависимости структурных элементов в системе «инженерно-геологическая оценка дисперсных грунтов».

В результате исследований в Тункинской и Баргузинской впадинах выявлено множество критериев отличия между грунтами различных геолого-генетических комплексов, представленных суглинками, супесями и глинами, песками разнотернистыми, лёссовидными супесями, суглинками и связными (облессованными) песками, поскольку каждому из перечисленных литологических разновидностей свойственен свой гранулометрический, минеральный и химический состав, оказывающий большое влияние на концентрации микроэлементов.

5.2. Токсичные элементы в дисперсных грунтах и почвах

Значение геоэкологических проблем непрерывно возрастает, в большей степени это касается урбанизированных территорий, где широко развиты процессы техногенеза, оказывающие влияние как на геологическую, так и на окружающую среду в целом.

В данной работе геоэкология рассматривается как междисциплинарная наука, которая исследует экологические проблемы геологической среды, закономерности взаимодействия литосферы и биосферы (Бочаров, 2004).

В рамках задач, связанных с геоэкологическими аспектами проблемы, в работе большое внимание уделяется изучению величин накопления и распределения токсичных микроэлементов в грунтовых толщах, распространённых как на городских территориях (Иркутск, Саянск, Братск), так и за их пределами (районы Биробиджана, пос. Могойтуй).

В работе (Рященко, Штельмах, Крапивина, 2009) рассматривается геохимическое загрязнение дисперсных грунтов урбанизированных территорий в качестве одного из основных информационных блоков системы «геологическая среда – природно-техногенные процессы» (рис. 13).



Рис. 13. Схема информационных блоков при оценке геоэкологического состояния территории.

Критическая экологическая ситуация сложилась в г. Братске – в одном из наиболее загрязненных городов России.

Автор изучал микроэлементный состав образцов почв г. Братска, которые были отобраны И.И. Крапиной в пределах жилой застройки летом 2003–2004 гг. Исследован 51 образец, интервал опробования 1–10 см.

Установленные максимальные концентрации меди, цинка, свинца в почвах являются более высокими по сравнению с другими урбанизированными территориями. (Штельмах, 2005).

Для всех изученных образцов дисперсных грунтов (в том числе почв), отобранных в пределах урбанизированных территорий (Братск, Иркутск, Саянск), а также в районе г. Биробиджана, характерны высокие содержания (ppm) V (130–170) и Cr (120–170) относительно кларков.

Минимальная степень загрязнения Co, Ni, Cu, Zn, Pb установлена в лессовидных супесях и глинистом элювии пос. Могойтуй (посёлок городского типа с населением 10,2 тыс. чел.).

5.3. Биогеохимический потенциал дисперсных грунтов

В разделе рассматриваются положительные свойства исследуемых дисперсных грунтов, связанные с их микроэлементным и гранулометрическим составом и проявляющиеся в сложных природных экосистемах.

Произведён сравнительный анализ микроэлементных составов дисперсных грунтов садоводств Иркутска, отложений различных геолого-генетических комплексов Тункинской и Баргузинской впадин с почвами Центрального Черноземья.

При определении степени загрязнения исследуемых грунтов в данной работе используются ПДК по валовым содержаниям токсичных микроэлементов, поскольку полученные с помощью метода спектрального рентгенофлуоресцентного анализа концентрации микроэлементов являются общими (валовыми) в исследуемых пробах дисперсных грунтов.

Так, концентрации V и Mn в исследуемых дисперсных грунтах не превышают нормированных значений согласно ГН 2.1.7.204-06. Содержания никеля, меди, цинка, свинца в исследуемых образцах не превышают ПДК, утвержденных Госком природо СССР, № 02-2333 от 10.12.90 г.

В результате проведённых исследований установлен положительный биогеохимический потенциал дисперсных грунтов, выраженный наличием оптимальной благоприятной среды как для растений, так и для почвенной микробиоты, и присутствием необходимых, способствующих росту и развитию растений микроэлементов, содержащихся в пределах, не превышающих установленных норм, в том числе и для наиболее токсичных компонентов – свинца и мышьяка.

В связи с этим можно рекомендовать использование грунтов в качестве природных экологически чистых удобрений с целью улучшения ряда важных в агрономическом отношении свойств сельскохозяйственных земель региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе материалы являются первым опытом изучения микроэлементного состава дисперсных грунтов с целью их инженерно-геологической оценки на примере как опорных разрезов скважин, расположенных на урбанизированных территориях и за ее пределами, так и ключевых участков в Прибайкалье (Тункинская и Баргузинская впадины).

При инженерно-геологических исследованиях разрезов грунтовых толщ установлены следующие закономерности: главными элементами в исследованных дисперсных грунтах являются Ba, Sr, Zr; характер распределения микроэлементов в вертикальном разрезе грунтовых толщ различен, на что указывают значения коэффициентов вариации; на концентрации микроэлементов оказывают влияние гранулометрический, минеральный и химический состав грунтов; установлены различия по содержанию и распределению токсичных элементов.

Результаты кластерного анализа показали, что микроэлементы – критерии выделения геолого-генетических комплексов дисперсных грунтов при их инженерно-геологической оценке; в моногенетических лёссовых толщах (dQ_3 , aQ_4) кластеризация образцов отсутствует.

На примере ключевых участков в Тункинской и Баргузинской впадинах выполнен сравнительный анализ микроэлементного состава лёссовых, глинистых и песчаных грунтов, представляющих различные геолого-генетические комплексы. По концентрациям микроэлементов наиболее чётко в грунтовых толщах выделяются горизонты погребённых почв. Отличительными особенностями микроэлементных составов песчаных отложений Баргузинской впадины являются высокие концентрации бария, стронция, а также небольшие концентрации токсичных элементов и практически отсутствие мышьяка.

Представлена последовательная «цепочка», отражающая взаимосвязи структурных элементов в системе «инженерно-геологическая оценка дисперсных грунтов»; получены данные о содержании токсичных элементов в дисперсных грунтах исследуемых объектов.

Установлен положительный биогеохимический потенциал дисперсных грунтов Тункинской и Баргузинской впадин, что позволяет использовать их как природные экологически чистые удобрения.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Штельмах С.И.** Изучение редких элементов в почвах при геоэкологических исследованиях территории города Братска // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXI Всероссийской молодёжной конференции. – Иркутск, 2005. – С. 240–241.

2. Ухова Н.Н., **Штельмах С.И.** Результаты исследования химико-минералогического состава «лечебных глин» (образцы-эталон для инженерно-геологической оценки грунтов) // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXI Всероссийской молодёжной конференции. – Иркутск, 2005. – С. 233–235.

3. **Штельмах С.И.**, Ревенко В.А., Акулова В.В., Худоногова Е.В. Рентгенофлуоресцентное определение Nb, Zr, Y, Sr, Rb в осадочных породах и почвах // Структура, функционирование и эволюция горных ландшафтов Западного Прибайкалья. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2005. – С. 112–118.

4. Худоногова Е.В., Ревенко А.Г., Акулова В.В., **Штельмах С.И.** Разработка методики определения оксида фосфора, серы и хлора в почвах и осадочных породах рентгенофлуоресцентным методом // Структура, функционирование и эволюция горных ландшафтов Западного Прибайкалья. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2005. – С. 105–111.

5. **Штельмах С.И.** Распределение микроэлементов в опорных инженерно-геологических разрезах грунтовых толщ на территории Иркутска (геолого-генетические и геоэкологические аспекты) // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 120–124.

6. **Штельмах С.И.**, Ревенко А. Г. Определение содержаний Mo, Nb, Zr, Y, Sr, Rb с помощью рентгенофлуоресцентного анализа в горных породах // Proceedings of conference on x-ray analysis. – Улан – Батор: Изд-во Ulaanbaatar, 2006. – С. 89–96.

7. Худоногова Е.В., Черкашина Т.Ю., **Штельмах С.И.**, Ревенко А.Г. Внешняя оценка качества определения содержаний ряда элементов в геологических образцах серии Георт рентгенофлуоресцентным методом // Proceedings of conference on x-ray analysis. -Улан – Батор: Изд-во Ulaanbaatar, 2006. – С. 103–108.
8. **Штельмах С.И.**, Рященко Т.Г. Содержания токсичных элементов в образцах четвертичных отложений микрорайона Солнечный города Иркутска // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых. Материалы Международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения академика К. И. Лукашёва (14 – 16 марта 2007 года). – Минск: Изд-во БГУ, 2007. – С. 247–250.
9. Рященко Т.Г., Акулова В.В, Ухова Н.Н., **Штельмах С.И.** Модель эволюции грунтовых толщ в зоне техногенеза (на примере территории г. Иркутска) // Кучинские чтения. Материалы юбилейной научной конференции, посвящённой 120-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина (23 – 25 октября 2007 года). – Томск: Изд-во Томского гос. архитектурно-строительного университета, 2007. – С. 102–105.
10. **Штельмах С.И.**, Данилова М.В. Поглощение микроэлементов оксидами марганца и железа в дисперсных грунтах // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXII Всероссийской молодёжной конференции. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2007. – С. 210–211.
11. Рященко Т.Г., **Штельмах С.И.** Микроэлементы в дисперсных грунтах различных геолого-генетических комплексов (на примере ключевых участков в Тункинской впадине) // **Геология, поиски и разведка рудных месторождений.** – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – Выпуск 6 (32). – С. 161–168.
12. **Штельмах С.И.** Микроэлементы в дисперсных грунтах Забайкалья (инженерно-геологические разрезы – п. Могойтуй) // **Вестник ИрГТУ.** – 2008. – № 4. – С. 42–44.
13. **Штельмах С.И.**, Рященко Т.Г. Микроэлементы в лёссовых грунтах (инженерно-геологические разрезы) // Сергеевские чтения. Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 10. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (20 - 21 марта 2008 г.). – М.: ГЕОС, 2008. – С. 270–274.
14. Рященко Т.Г., **Штельмах С.И.**, Крапивина И.И. Геохимическое загрязнение дисперсных грунтов урбанизированных территорий (на примере Ангарска, Братска, Иркутска, Эрдэнэта) // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – С. 140–143.
15. **Штельмах С.И.**, Рященко Т.Г. Особенности микроэлементного состава песчаных грунтов (на примере ключевых участков в Баргузинской впадине) // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – С. 143–148.
16. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., **Штельмах С.И.** Применение ГИС-технологий при изучении дисперсных грунтов юга Восточной Сибири // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач. Выпуск 11. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23–24 марта 2009 г.) – М.: ГЕОС, 2009. – С. 222–226.
17. **Штельмах С.И.**, Данилова М.В. Микроэлементный состав глинистых фракций дисперсных грунтов (на примере опорных разрезов Иркутска и Биробиджана) // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXIII Всероссийской молодёжной конференции – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. – С. 262–263.

Подписано к печати 12.03.2010-03-21

Формат 60x84/16. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Таймс.

Печать Riso.

Усл. печ.л. 1.0. Тираж 100 экз. Заказ 701.

Отпечатано в типографии Института земной коры СО РАН.

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

