

Российский государственный педагогический
университет им. А. И. Герцена

Зарина Л. М., Гильдин С. М.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ
Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург
Издательство РГПУ им. А. И. Герцена
2011

ББК 74я73
З 34

*Печатается по рекомендации кафедры
геологии и геоэкологии и решению
Редакционно-издательского совета
РГПУ им. А. И. Герцена*

Рецензенты: кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры экологической геологии Санкт-Петербургского государственного университета *Лебедев Сергей Васильевич*;
кандидат геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры географии Московского государственного гуманитарного университета им. М. А. Шолохова *Щерба Владимир Афанасьевич*

З 34 Зарина Л. М., Гильдин С. М.

Геоэкологический практикум: Учебно–методическое пособие. — СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2011. — 60 с.

ISBN 978–5–8064–1662–0

В учебно-методическом пособии рассматриваются современные геоэкологические проблемы урбанизированных территорий, вопросы организации геоэкологического мониторинга окружающей среды. В пособии изложены методики отбора и подготовки проб природных сред, методы анализа вещества, способы и приемы оценки экологического состояния окружающей среды.

Пособие предназначено для студентов естественнонаучных факультетов высших учебных заведений.

Учебно–методическое пособие подготовлено в рамках Федеральной целевой программы Министерства образования и науки Российской Федерации «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК №П1156.

ББК 74я73

ISBN 978–5–8064–1662–0 © Зарина Л. М., Гильдин С. М., 2011

© Издательство РГПУ им. А. И. Герцена, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Современные города являются центрами сосредоточения населения, промышленности, транспорта, коммуникаций и обусловленных этим деградации ландшафтов и интенсивного загрязнения окружающей среды. Площади аномалий загрязнителей в настоящее время представляют собой техногенные геохимические провинции.

Наибольшее внимание при геоэкологических исследованиях обычно уделяется тяжелым металлам (Саэт и др., 1990). Это обусловлено широким распространением и индикационным значением данного вида загрязнения, а также наличием хорошо отработанных и достаточно дешевых аналитических методов (преимущественно спектральных). Кроме того, в связи со своей высокой биохимической активностью, токсичностью, высокой кумулятивной способностью, трудностью выведения из организма, тяжелые металлы являются одними из наиболее опасных для здоровья человека и других живых организмов поллютантами.

Поступление тяжелых металлов в окружающую среду обусловлено источниками как естественного, так и антропогенного происхождения. С процессами, происходящими в природе, связана основная масса тяжелых металлов, заключенная в океанических водах, водах суши, донных осадках, почвах, растительности, атмосфере. К числу естественных источников загрязнения атмосферного воздуха относят процессы выветривания, разложение органических веществ, морскую соль, извержения вулканов, пыльные бури, степные и лесные пожары, массивы зеленых насаждений в период цветения и др.

Локальные зоны с аномально высокими концентрациями тяжелых металлов связаны обычно с техногенными выбросами в атмосферу, гидросферу и литосферу. Поступление тяжелых металлов в окружающую среду от антропогенных источников происходит неравномерно, часто в виде залповых выбросов и прекращается с завершением функционирования соответствующего объекта. К источникам антропогенного происхождения относятся автотранспорт, предприятия электроэнергетики, промышленности, сельского хозяйства, отвалы, мусоросжигающие заводы, свалки твердых бытовых и промышленных отходов, стоки с урбанизированных территорий, аварии и др.

Наиболее опасным для здоровья человека является загрязнение атмосферы. Это связано с тем, что многочисленные токсичные соединения, находящиеся в атмосфере, воздействуют на наш организм в течение всей жизни — от первого до последнего вдоха. Медиками установлено, что суммарная поверхность альвеол легких достигает площади около 100 м^2 . Ежеминутно человек вдыхает

порядка 20-24 л воздуха. В альвеолах вдыхаемый воздух входит в непосредственный контакт с кровью, в которой растворяются практически все соединения, находящиеся в воздухе, а из легких кровь поступает непосредственно в большой круг кровообращения, минуя основной детоксикационный барьер в человеческом организме — печень. Установлено, что яды, поступающие в организмы млекопитающих ингаляционным путем, воздействуют на животных и человека в 80–100 раз сильнее, чем при поступлении этих ядов через желудочно-кишечный тракт. Трудность защиты от токсикантов в атмосфере состоит в том, что можно отказаться от загрязненной воды или потенциально грязных пищевых продуктов, но не дышать мы не можем.

Несмотря на усиление мер контроля над состоянием окружающей среды в городах, количество выбросов непрерывно увеличивается, что свидетельствует о необходимости и важности систематического изучения загрязнения атмосферы урбанизированных территорий.

Контроль за состоянием атмосферного воздуха производится на станциях экологического мониторинга. Так, в Санкт-Петербурге, существует автоматизированная система контроля и управления качеством атмосферного воздуха. Станции Системы УКВ функционируют непрерывно в автоматическом режиме и обеспечивают регулярное получение оперативной информации об уровне загрязнения атмосферного воздуха Санкт-Петербурга основными примесями. Периодичность измерений каждые 20 минут. Однако станции Системы УКВ получают данные о содержании в атмосферном воздухе лишь основных загрязнителей — оксидов углерода, серы, азота, взвешенных веществ (пыли), озона, формальдегида, аммиака, фенола, измерения же концентраций таких важных загрязнителей как тяжелые металлы не проводятся. Кроме того, определение содержания поллютантов в атмосферном воздухе связано с определенными техническими трудностями. Поэтому в геоэкологических исследованиях часто используют так называемые «депонирующие среды» — снежный и почвенный покровы, анализ которых позволяет сделать достоверную оценку состояния атмосферы.

Наличие коррелятивных зависимостей между веществами-загрязнителями атмосферного воздуха и их содержанием в снежном покрове позволяют использовать этот тип депонирующей среды для экспрессной геоэкологической оценки общего уровня загрязнения урбанизированных территорий. Геохимические аномалии в снежном покрове, по существу, отражают эколого-геохимическое состояние атмосферы, суммируя воздействие природных атмогеохимических (дегазация Земли), природно-техногенных атмогеохимических (газовые новообразования погребенных залежей торфа и др.) и техногенных факторов (выбросы предприятий), влияющих на динамику геохимической экологической функции литосферы во времени (Трофимов и др., 2006). Снежный покров отражает контуры аэрогенного загрязнения на период образования и позволяет судить о динамике проис-

ходящих процессов. В период снеготаяния находящиеся в снеге токси-каны мигрируют в поверхностные воды, донные осадки, почвы и подсти-лающие их горные породы, причем ареал их распространения значительно превышает контуры геохимических аномалий в снежном покрове.

Содержание загрязняющих веществ в поверхностном слое почв явля-ется, в том числе, результатом многолетнего воздействия атмосферных за-грязнений.

Поэтому в геоэкологических работах изучение химического состава снежного покрова и почв занимает значительное место, позволяя оценить масштабы загрязнения окружающей среды от источников выбросов в ат-мосферу.

Настоящее учебно-методическое пособие кроме теоретической части, освещающей современные геоэкологические проблемы урбанизированных территорий и вопросы организации геоэкологического мониторинга окру-жающей среды, содержит методические рекомендации по отбору и подго-товке проб природных сред, методам анализа вещества, способам и прие-мам оценки экологического состояния окружающей среды, что предусмат-ривает более глубокое изучение теории и методов проведения научных ис-следований, способствует формированию профессиональных компетенций выпускников и является весьма ценным источником при написании курсо-вых, выпускных квалификационных работ, магистерских диссертаций.

Пособие может быть рекомендовано студентам естественнонаучных факультетов высших учебных заведений.

Учебно-методическое пособие предназначено для обеспечения учеб-ного процесса РГПУ им. А.И. Герцена в рамках реализации основных об-разовательных программ по направлениям подготовки:

- «050100 — Естественнонаучное образование», профиль «Геология» (Геоэкологическая практика);
- «050100 — Педагогическое образование», профиль «География» (дисциплина «Основы геоэкологии»);
- «022000 — Экология и природопользование» (дисциплина «Геоэкология»);
- «021000 — География» (дисциплина «Геоэкология»).

Учебно-методическое пособие подготовлено в рамках Федеральной це-левой программы Министерства образования и науки Российской Феде-рации «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы, ГК №П1156.

Глава 1. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1.1. Процесс урбанизации и его геоэкологические последствия

В структуре мирового земельного фонда на урбанизированные территории, под которыми понимаются территории городов и поселков городского типа с высокой степенью антропогенного освоения, приходится всего около 2% земель. Но на этих 2% площади суши проживает половина населения Земли. На урбанизированных территориях производится более 80% промышленной продукции, они являются источником более 80% загрязнений антропогенного происхождения.

Процесс урбанизации, т.е. увеличение численности городских поселений, рост и развитие городов, является мощным экологическим фактором, сравнимым по своему воздействию с природными процессами. Крупный город полностью преобразует природную среду на своей территории.

Высотная застройка городов изменяет рельеф местности — плоская равнина превращается в равнину холмистую. В настоящее время в мире существует около 2500 зданий высотой более 150 метров, причем высота самого большого небоскреба — 150-этажной башни Бурж-Халифа в Дубае — составляет 828 м по шпилью и 643 м по крыше корпуса. Существуют проекты небоскребов высотой до 4 км.

Климатические условия в городах отличаются от климатических условий окружающей местности, причем, чем крупнее город, тем эти отличия значительнее. Причинами изменения городского климата являются:

- уменьшение альбедо земной поверхности;
- выделение тепла городскими зданиями, промышленными объектами, автотранспортом и др., аккумуляция солнечного тепла искусственными поверхностями;
- увеличение неровности земной поверхности, что затрудняет горизонтальную циркуляцию воздушных масс;
- уменьшение средней величины испарения с земной поверхности, что способствует снижению абсолютной и относительной влажности воздуха;
- загрязнение атмосферного воздуха твердыми, жидкими и газообразными примесями, высокая концентрация которых приводит к образованию антропогенного аэрозоля, который препятствует инсоляции, способствует образованию туманов, выступает в качестве ядер конденсации, что в сочетании с восходящими токами воздуха увеличивает облачность и частоту выпадения осадков.

По оценкам специалистов, перепады температур, относительной влажности, солнечной радиации между городом и его окрестностями могут достигать величин, соизмеримых с передвижением в естественных условиях на 20°.

Урбанизированные территории оказывают существенное воздействие на гидрологические объекты. Основными проблемами в этом случае являются загрязнение грунтовых и поверхностных вод, изменение гидрологического режима вод, образование депрессионных воронок в результате забора подземных вод для водоснабжения.

Почвенный покров городов подвергается коренной перестройке. Природные почвы с ненарушенным почвенным профилем, как правило, присутствуют лишь на окраинах — в лесопарковых зонах. Для большей части урбанизированных территорий характерны насыпные почвы, содержащие большое количество мусора, в связи с чем, они отличаются высокой дренажностью и слабо удерживают воду, что, в свою очередь, приводит к нарушению водного режима. Воздушный режим почв нарушается вследствие переуплотнения верхних горизонтов почв в результате вытаптывания. Кроме того, органическая масса растений не возвращается после своего отмирания в почву, а сжигается, вывозится на свалки, смывается в ливневую канализацию, что приводит к нарушению биогеохимического цикла питательных веществ и приводит к снижению плодородия почвы. Выпадения токсикантов из атмосферы, стоки с дорог, свалки бытового и промышленного мусора определяют высокий уровень загрязнения почвенного покрова урбанизированных территорий.

В результате, значительное ухудшение водно-воздушного режима, высокий уровень загрязнения и снижение плодородия почв отрицательно сказываются на состоянии городской растительности.

Урбанизированные территории отличаются бедным по сравнению с окружающей местностью видовым составом биоты, угнетенным состоянием растительности, меньшим сроком жизни древесной и кустарниковой растительности, нарушением биоритмов живых организмов, что снижает устойчивость городских экосистем.

Таким образом, развитие урбанизированных территорий приводит к коренной перестройке ландшафтной структуры местности. Природные ландшафты разрушаются или деградируют, а на их месте формируются новые — городские ландшафты разной степени урбанизированности.

1.2. Загрязнение урбанизированных территорий

Основным фактором жизнедеятельности городов, оказывающим негативное воздействие на природную среду, является фактор загрязнения.

Под загрязнением понимается привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, биологических, механических или информационных агентов или превы-

шение в рассматриваемое время среднемноголетнего уровня вышеперечисленных агентов, нередко приводящее к негативным последствиям (ГОСТ 30772-2001).

Основными источниками антропогенного загрязнения окружающей среды являются: тепловые электростанции (27%), предприятия черной (24%) и цветной (10,5%) металлургии, нефтехимической промышленности (15,5%), строительных материалов (8,1%), химической промышленности (1,3%), автотранспорта (13,3%). Необходимо отметить, что доля автотранспорта в загрязнении приземных слоев атмосферы непосредственно на городских территориях достигает 90% и более за счет того, что промышленные выбросы поступают в атмосферу на значительной высоте (60 м и более) и рассеиваются воздушными потоками по большой площади.

Влияние очагов загрязнения распространяется далеко за их пределы благодаря переносу загрязняющих веществ поверхностными водами и воздушными потоками. Прямое негативное воздействие городов на все природные оболочки Земли в ряде случаев проявляется в радиусе 60–100 км и более (Добровольский, 1983; Лукаревская, 2007).

Можно выделить несколько видов загрязнения окружающей среды:

- физическое загрязнение, которое связано с изменениями физических параметров среды и подразделяется на тепловое, шумовое, световое, электромагнитное, вибрационное и др.;
- химическое загрязнение, т.е. изменение естественно-химических свойств среды, проникновение в нее веществ, отсутствовавших ранее. К числу химических загрязнителей относятся: соединения серы, углерода, азота, углеводороды, летучие органические соединения, тяжелые металлы, хлор, бром, фосфор, моющие средства, пестициды, нитраты и др. В.Ф. Протасов и А.В. Молчанов в своей работе «Экология здоровья и природопользование в России» пишут: «По данным ВОЗ, в настоящее время в практической деятельности используется около 500 тысяч химических соединений; из которых 40 тысяч вредны для человека, а 12 тысяч — ядовиты» (Протасов, Молчанов, 1995, с.132);
- биологическое загрязнение, приводящее к изменению биологических параметров среды, здесь можно выделить биотическое, микробиологическое загрязнения и генную инженерию;
- механическое загрязнение, возникающее в результате выбросов пыли, сажи, скопления бытового и промышленного мусора;
- радиационное загрязнение, т.е. превышение естественного радиационного фона, причинами которого могут стать: утеря или неконтрольный выброс препаратов и отходов промышленных, медицинских и научных организаций, использующих радиоактивные вещества; глобальные выпадения радионуклидов из атмосферы, попавших туда в результате проведения ядерных испытаний и аварий

на различных ядерных объектах; выход на дневную поверхность горных пород с повышенным содержанием естественных радиоактивных элементов; применение в строительстве природных материалов (гранит, щебень, песок и др.) с повышенным содержанием естественных радионуклидов; локальные выпадения из атмосферы радионуклидов, являющихся продуктами неполного сгорания углеродородного топлива и др.;

- информационное загрязнение, к которому относятся, например, звуковое загрязнение, мешающее восприятию полезных сигналов и угнетающее психику; световое загрязнение, вызывающее сбой биоритмов растений и животных; зрительное загрязнение, рассеивающее внимание и не позволяющее принимать правильные решения; загрязнение, связанное с изменениями температурного режима (например, длительная оттепель зимой, которая вызывает распускание почек) и др.

1.3. Тяжелые металлы в окружающей среде городов

Наибольшую опасность для состояния окружающей среды и здоровья человека представляет загрязнение воздушного бассейна. Перенос загрязняющих веществ на большие расстояния осуществляется главным образом за счет общей циркуляции атмосферы. Поступающие в нее примеси могут распространяться воздушными потоками на расстояние от нескольких сотен до нескольких тысяч километров. Так, например, тяжелые металлы в виде аэрозолей при среднем времени их пребывания в нижней тропосфере, равном 5 суткам, могут быть перенесены на расстояние до 3000 км, а в верхней тропосфере и на значительно большее расстояние.

В вещественном составе атмосферных загрязнителей — оксиды углерода, серы, азота, тяжелые металлы, углеводороды, летучие органические соединения, пыль, радиоактивные элементы, болезнетворные микроорганизмы и т.д. Удельный вес различных примесей в загрязнении окружающей среды не является одинаковым. Существуют данные Баттелевского института о том, что в 1970–1971 гг. первое место во «вкладе» отдельных веществ в загрязнение окружающей среды занимали тяжелые металлы (Новиков и др., 1978). Л.Г. Бондарев (Бондарев, 1984) приводит данные о вещественном составе золы ископаемого топлива. Так, в каменноугольной золе установлено наличие 70 элементов: в 1 т золы в среднем содержится по 200 г цинка и олова, 300 г кобальта, 400 г урана, по 500 г германия и мышьяка, максимальное содержание стронция, ванадия, цинка и германия может достигать 10 кг на 1 т. Зола нефти содержит много ванадия, молибдена, никеля. Зола торфа — уран, кобальт, медь, никель, цинк, свинец.

Металлы содержатся в большинстве видов промышленных, энергетических и автотранспортных выбросов в атмосферу и являются индикаторами

техногенного воздействия этих выбросов на окружающую среду (Ревич и др., 1990; Трофимов и др., 2002).

Негативное влияние тяжелых металлов на живые организмы и здоровье человека проявляется не только в прямом воздействии высоких концентраций, но и в отдаленных последствиях, связанных с их кумулятивным эффектом (Вредные..., 1988, 1989; Ревич и др., 1990; Протасов и др., 1995). Таким образом, тяжелые металлы относятся к приоритетным загрязняющим веществам, наблюдения за которыми обязательны во всех средах.

В современной литературе существуют различные точки зрения о том, какие элементы можно отнести к тяжелым металлам. В химической и технической литературе критериями для выделения тяжелых металлов служат их атомная масса и плотность. Так, в «Справочнике по элементарной химии» под ред. А.Т. Пилипенко (Справочник..., 1977) к тяжелым металлам отнесены элементы Периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц и плотностью более 5 г/см^3 , т.е. большей, чем у железа (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sn, Sb, V, Hg и др.). Таких элементов насчитывается 43. Десять из них наряду с металлическими свойствами обладают признаками неметаллов (представители главных подгрупп VI, V, IV, III групп Периодической системы, являющиеся р-элементами). Ю.В. Алексеев (Алексеев, 1987) предлагает считать тяжелыми металлы с атомной массой более 40.

В геоэкологии и природопользовании, кроме физико-химических, свойств элементов, учитывается их токсичность для живых организмов, стойкость и способность накапливаться во внешней среде. Ю.А. Израэль к тяжелым металлам, контроль за которыми необходимо производить в биосферных заповедниках, относит Pb, Hg, Cd, As (Израэль, 1979). По решению Целевой группы по выбросам тяжелых металлов (Европейская экономическая комиссия ООН), занимающейся сбором и анализом информации о выбросах загрязняющих веществ в европейских странах, к тяжелым металлам отнесены Zn, As, Se и Sb. По классификации Н.Ф. Реймерса (Реймерс, 1990, 1992), тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см^3 и обладающих токсическим воздействием на живые организмы. К таким Н.Ф. Реймерс относит Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В прикладных исследованиях геоэкологического характера к этому списку добавляются обычно Ag, W, Fe, Mn, V и некоторые другие элементы.

Суммируя сведения литературных источников, можно выделить следующие свойства тяжелых металлов с геоэкологической точки зрения (Израэль, 1979; Реймерс, 1990, 1992; Никитин, 2000; Трофимов и др., 2002):

- 1) высокая биохимическая активность большинства тяжелых металлов;
- 2) токсичность – отрицательное воздействие на физиологические функции организмов, состояние жизнеобеспечивающих природных сред всех тяжелых металлов в повышенных (токсических) концентрациях;
- 3) высокая кумулятивная способность (тенденция к биоконцентрирова-

- нию); трудность выведения из организма и окружающей среды;
- 4) высокая миграционная способность;
 - 5) атомная масса выше 40, плотность более 5 г/см³.

Все загрязняющие вещества в соответствии подразделяются на классы токсикологической опасности по степени вредного воздействия на здоровье человека (табл. 1).

Таблица 1

Классы опасности (токсичности) элементов (СанПиН 2.1.7.1287-03)

Класс опасности	Элементы
I	Мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, цинк, фтор, 3,4-бенз(а)пирен
II	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
III	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетофенон

Антропогенные источники поступления в окружающую среду некоторых тяжелых металлов и мышьяка приведены в таблице 2.

Таблица 2

Антропогенные источники поступления некоторых тяжелых металлов и мышьяка в окружающую среду (по Вредные..., 1988, 1989; <http://sci.aha.ru/ATL/ra00.htm> и др.)

Элемент	Источники поступления в атмосферу
Pb	Выбросы предприятий электроэнергетики, металлургии, машиностроения, металлообработки, электротехники, химии и нефтехимии, деревообрабатывающей и целлюлозобумажной, пищевой промышленности, пр-ва стройматериалов, автотранспорта
Zn	Выбросы предприятий цветной металлургии, мусоросжигающих заводов, при истирании покрышек
Cu	Выбросы предприятий цветной металлургии (98,7% всех антропогенных выбросов Cu); сжигание этилированного бензина
Ni	Выбросы предприятий цветной металлургии (97% всех антропогенных выбросов Ni); сжигание топлива
Co	Сжигание топлива
Fe	Выбросы предприятий по производству стройматериалов
Mn	Выбросы предприятий черной металлургии (60% всех выбросов Mn), машиностроения и металлообработки (23%), цветной металлургии (9%), мелкие источники (сварочные работы и др.)
Cr	Выбросы предприятий черной и цветной металлургии (легирующие добавки, сплавы, огнеупоры), машиностроения (гальванические покрытия)
V	Выбросы предприятий электроэнергетики, черной металлургии, автотранспорта
Ti	Выбросы предприятий
As	Сжигание топлива, выбросы предприятий электроэнергетики, по производству стройматериалов

Эмиссия тяжелых металлов в составе техногенных выбросов в окружающую среду происходит, чаще всего, в виде их комплексов. Токсиче-

ское воздействие комплексов на организмы зависит от состава комплекса, чувствительности организмов (общей и поэлементной), химической формы соединений и других факторов, определяющими являются пропорции микроэлементов, входящих в комплекс. Считается, что из различных сочетаний основных элементов в пыли, выбрасываемой заводами по выплавке цветных металлов, наиболее токсичным является сочетание Cd–Pb–Zn, промежуточное положение занимает Pb–Cu, наименее токсично сочетание Pb–Zn.

Дальность распространения и уровни загрязнения атмосферы зависят от мощности источника, условий выбросов и метеорологических параметров. С удалением от источников загрязнения происходит рассеивание примесей, вследствие чего зона их интенсивного воздействия, в которой имеет место превышение ПДК, сравнительно невелика. Выделяют несколько зон загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами в зависимости от удаления от источника загрязнения (Василенко и др., 1985):

- 0–2 км от источника — зона максимальных концентраций: содержание ТМ в приземном слое атмосферы в 100–1000 раз выше местного геохимического фона, в снеге — в 500–1000 раз; водорастворимые соединения составляют порядка 5–10%, основную массу выпадений образуют мелкие пылевидные частицы сульфидов и оксидов;
- 2–4 км — содержание тяжелых металлов в воздухе в 10 раз ниже, чем в первой зоне; относительное содержание водорастворимых соединений возрастает;
- 4–10 км — повышенное содержание тяжелых металлов в отдельных пробах.

По мере удаления от городов и промышленных территорий доля атмосферных выбросов снижается за счет поступления тяжелых металлов в составе сточных вод, отходов, удобрений.

1.4. Воздействие тяжелых металлов на здоровье человека

Попавшие в окружающую среду соединения тяжелых металлов легко проникают в трофические цепи, накапливаясь в растительных и животных организмах; включаются в метаболические циклы и вызывают разнообразные физиологические нарушения, в том числе на генетическом уровне. Для выведения тяжелых металлов из экосистемы до безопасного уровня требуется весьма продолжительный период времени при условии полного прекращения их поступления. Период полувыведения тяжелых металлов из организма человека обычно составляет многие месяцы.

Биологическая активность тяжелых металлов выводит данную группу загрязнителей на приоритетное место в мониторинговых исследованиях окружающей среды. Физиологическое действие тяжелых металлов на организм человека и животных различно и зависит от природы металла, типа соединения, в котором он существует в природной среде, а также интерва-

лом концентраций, при которых возможна нормальная реакция обменных процессов.

Согласно теории пороговых концентраций В. В. Ковальского (Ковальский, 1982), организм поддерживает гомеостаз только в условиях определенных пределов изменчивости геохимической среды (табл. 3). Ниже концентрации, соответствующей нижней пороговой концентрации (недостаточное поступление химических элементов в организм), и выше концентрации верхнего порога (избыточное поступление химических элементов), функция гомеостатической регуляции нарушается.

За пределами нижних и верхних пороговых концентраций химических элементов наблюдаются биологические реакции организмов, возникают мутации, возможно изменение наследственной природы организма (Трофимов и др., 2002).

Таблица 3

Пороговые концентрации некоторых тяжелых металлов в почвах, млн⁻¹ (по В. В. Ковальскому, 1982)

Элемент	Пороговая граница		Предел нормальной регуляции
	нижняя	верхняя	
Zn	30	70	30–70
Cu	6–15	60	15–60
Co	2–7	30	7–30
Mn	400	3000	400–3000
Sr	–	6–10	0–10

Таким образом, тяжелые металлы всегда содержатся в живых организмах и в малых дозах (в пределах нормальной регуляции) участвуют в процессах жизнедеятельности, являясь активаторами и составной частью ферментов и гормонов (Ковальский, 1982; Протасов, 2001; Трофимов и др., 2002; Матвеева, 2005 и др.). В высоких концентрациях, превышающих пределы нормальной регуляции, тяжелые металлы становятся ингибиторами ферментов, оказывают на организм токсическое, аллергическое, канцерогенное действие; многие тяжелые металлы избирательно накапливаются в определенных органах и тканях, структурно и функционально нарушая их (табл. 4). Доказано эмбриотоксическое действие токсикантов через плаценту, а также их мутагенный эффект, т.е. тяжелые металлы оказывают воздействие на основополагающие функции живых организмов: воспроизводство и биопродуктивность. В этом случае угроза создается не только для отдельных особей, но для целых популяций и поколений. Такие химические элементы, вызывающие отдаленные последствия, могут считаться экологически токсичными (Саег, 1990).

Развитие заболеваний может быть спровоцировано не только недостатком или избытком какого-либо химического элемента, но и их соотношением. Так, заболевание эндемический зоб вызывается недостатком йода в организме человека. Кроме того, на распространение болезни влияет сбалансиро-

ванность йода с кобальтом (норма I:Co=163,8:1) и кобальта с медью (норма Co:Cu=22,1:1). Уровская болезнь, проявляющаяся в ограничении подвижности суставов, изъязвлении хрящей, ограничении роста, деформации костей, распространена в регионах, где в почвах отмечается дефицит кальция и избыток стронция и бария (норма Ca:Sr=5:1). Установлено, что глаукома встречается чаще там, где почвы богаты марганцем и стронцием и одновременно бедны барием, хромом, железом и кобальтом и т.д.

Таблица 4

Негативные воздействия повышенных (токсических) концентраций некоторых тяжелых металлов и мышьяка на здоровье человека (по Беус и др., 1976; Уотсон, 1986; Протасов, 2001; <http://sci.aha.ru/ATL/ra00.htm> и др.)

Элемент	Негативные воздействия
Pb	Сатурнизм (свинцовое отравление): задержка синтеза протеина в крови (анемия), поражение почек, головного мозга (снижение умственных способностей, агрессивное поведение, конвульсии, бред, иногда сонливость, кома) и периферической нервной системы (особенно нервов мышц), потеря слуха, задержка роста, разрушение костных тканей, параличи, боли в суставах, снижение реакций иммунной системы, нарушение функций сердечно-сосудистой системы, желудочно-кишечного тракта (боли в области живота, потеря аппетита, запоры), снижение репродуктивной функции. Обладает способностью проникать через плаценту и накапливаться в грудном молоке Усиливает в 5 раз канцерогенный эффект углеводов (бензапирена, бензола, винилхлорида и др.). Повышает токсический эффект других металлов
Zn	Анемии. Повышает токсический эффект других тяжелых металлов
Cu	Интоксикации, анемии, гепатит, органические изменения в тканях, распад костной ткани
Ni	Дерматиты, экземы, витилиго, респираторные заболевания, астматические бронхиты, бронхиальная астма, астено-невротические расстройства, нарушение синтеза белка, ДНК и РНК, нарушение функций сердечно-сосудистой системы. Соединения Ni принадлежат к 1 группе канцерогенов: раковые заболевания полости рта, горла, легких, бронхов, почек, толстой и прямой кишки, саркома
Co	Токсический миокардит
Fe	При систематическом вдыхании воздуха, содержащего железосодержащую пыль, сидероз, пневмосклероз
Mn	Нейротоксические эффекты (утомляемость, сонливость, снижение скорости реакции, работоспособности, головокружение, депрессивные, подавленные состояния), прогрессирующее поражение ЦНС; пневмонии; нарушение процессов кальцификации, внутренней структуры костей; токсикозы беременных; развитие идиотии у эмбрионов
Cr	Дерматиты, экземы, аллергические реакции; раздражение верхних дыхательных путей, астматические бронхиты, бронхиальная астма, диффузный пневмосклероз; астено-невротические расстройства (головная боль, слабость, диспепсия, потеря в весе и др.); нарушение функций желудка (гастрит, язвенная болезнь), печени (гепатит), поджелудочной железы Соединения Cr(VI) и Cr(III) — канцерогенны: рак легких, бронхов
As	Арсеноз (отравление мышьяком): блокада ферментных систем, накопление в тканях кислых продуктов обмена (общий ацидоз), нарушение тканевого

	дыхания; периферические невриты; расстройство сердечной деятельности; гемолиз, анемия; тромбоз; атрофия костного мозга; дегенеративные и некротические процессы в тканях на месте контакта; нарушение функций желудка, печени Канцерогенен: рак легких, кожи. Мутагенный и тератогенный эффект: не вызывая генных мутаций индуцирует хромосомные аномалии
V	Местные воспалительные реакции кожи и слизистых оболочек глаз, верхних дыхательных путей, скопление слизи в бронхах и альвеолах при острых воздействиях токсических доз. Астма, экземы, лейкопения, анемии, замедление роста, диарея
Sr	Патологии опорно-двигательного аппарата (остеопороз и др.)

Тяжелые металлы обычно накапливаются в живых организмах совместно. Установлены синергизм и антагонизм такого комплексного воздействия. При синергизме эффект действия многократно усиливается (токсичность свинца усугубляется недостатком кальция). Из-за антагонизма цинка и кадмия введение избыточных количеств первого приводит к уменьшению содержания последнего, отличающегося повышенной токсичностью. Токсичность тяжелых металлов зависит от форм нахождения их в окружающей среде. Особенно опасны металлоорганические соединения (тетраэтилсвинец и др.). Летучие элементы (мышьяк и др.) легко проникают в организм человека через органы дыхания. Особую опасность представляют тонкодисперсные твердые аэрозоли тяжелых металлов, которые широко распространены и задерживаются в легких человека, вызывая онкологические и другие заболевания (Трофимов и др., 2002).

Глава 2. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

2.1. Система мониторинга окружающей среды

Термин «мониторинг» образован от латинского слова «*монитор*» — наблюдающий, предостерегающий (так называли вперёдсмотрящего матроса на парусном судне). Идея глобального мониторинга окружающей человека природной среды и сам термин появились в 1971 г. в связи с подготовкой к проведению Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде (1972). Первые предложения по разработке такой системы были выдвинуты Научным комитетом по проблемам окружающей среды (СКОПЕ). Концепция мониторинга была предложена профессором Р. Мэнном в 1973 г. Мониторингом Р. Мэнн предложил называть систему повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и во времени с определёнными целями в соответствии с заранее подготовленной программой (Пашкевич и др., 2002). В настоящее время под термином «экологический мониторинг» понимается система наблюдения, контроля, оценки, прогноза состояния окружающей природной среды и информационного обеспечения процесса подготовки и принятия управленческих решений.

В 1975 г. под эгидой ООН была организована Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС). Эта система состоит из пяти взаимосвязанных подсистем: изучение климатических изменений, дальнего переноса загрязняющих среду веществ, гигиенических аспектов среды, исследования Мирового океана и ресурсов суши. Существуют 22 сети действующих станций системы глобального мониторинга, а также международные и национальные системы мониторинга.

Россия является одной из первых стран мира, на чьей территории к середине 80-х гг. была создана национальная система комплексного фонового мониторинга — Общегосударственная служба наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК). В 1993 г. принято решение о реорганизации ОГСНК в Единую государственную систему экологического мониторинга (ЕГСЭМ) с целью радикального повышения эффективности работ по сохранению и улучшению состояния окружающей среды, обеспечению экологической безопасности человека в Российской Федерации.

Единая государственная система экологического мониторинга РФ (ЕГСЭМ) включает в себя следующие основные элементы: мониторинг источников антропогенного воздействия на окружающую среду; мониторинг

загрязнения абиотического компонента окружающей природной среды; мониторинг биотического компонента окружающей природной среды; социально-гигиенический мониторинг; обеспечение создания и функционирования экологических информационных систем.

В основе государственного экологического мониторинга лежит концепция комплексной характеристики состояния окружающей природной среды. Главным и обязательным условием этой концепции является рассмотрение всех основных сторон взаимодействий и связей в окружающей среде и учет всех аспектов загрязнения природных объектов, а также поведения загрязняющих веществ и проявления их воздействия. Проводимые комплексные исследования призваны определить источник загрязнения, оценить его мощность и время воздействия и найти пути оздоровления среды. Выделяют 5 основных принципов комплексности:

1) интегральность — наблюдения за суммарными показателями, т.е. использование для выявления загрязнений признаков реакций различных природных объектов и биоиндикаторов;

2) многосредность — наблюдения в основных природных средах (атмосфера, гидросфера, литосфера (главным образом педосфера), биота). Особенно важно определить лимитирующую среду; пути миграции загрязняющих веществ, возможности и коэффициенты их перехода из одной среды (или объекта) в другую;

3) системность — воссоздание биохимических циклов загрязняющих веществ, необходимость проследить путь загрязняющих веществ от источника до объекта воздействия;

4) многокомпонентность — анализ различных видов загрязнителей;

5) унификация методов анализа; контроль и обеспечение качества данных.

Функции государственного экологического мониторинга распределены между центральными органами исполнительной федеральной власти. Координацией деятельности министерств и ведомств, предприятий и организаций в области мониторинга окружающей среды, а также организацией некоторых видов мониторинга занимается Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Различные виды мониторинга также осуществляют: Государственный комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству (Роскомзем), Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), Федеральное агентство водных ресурсов, Государственный комитет РФ по рыболовству (Роскомрыболовство), Федеральное агентство лесного хозяйства (Рослесхоз), Федеральная служба геодезии и картографии России (Роскартография), Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор), Министерство обороны РФ (Минобороны России) и некоторые другие ведомства.

Как видно, осуществление экологического мониторинга в Российской Федерации входит в обязанности различных государственных служб. Это приводит к некоторой неопределенности в отношении распределения обязанностей и доступности сведений об источниках воздействия, о состоянии окружающей среды и природных ресурсов. Ситуацию усугубляют периодические перестройки министерств и ведомств, их слияния и разделения.

Система мониторинга реализуется на нескольких уровнях, которым соответствуют специально разработанные программы:

- импактном (изучение сильных воздействий в локальном масштабе);
- региональном (проявление проблем миграции и трансформации загрязняющих веществ, совместного воздействия различных факторов, характерных для экономики региона);
- фоновом (на базе биосферных заповедников, где исключена любая хозяйственная деятельность).

Импактный мониторинг накапливает и анализирует детальную информацию о конкретных источниках загрязнения и их воздействии на окружающую среду. В сложившейся в России системе сведения о деятельности предприятий и о состоянии среды в зоне их воздействия по большей части усреднены или основаны на заявлениях самих предприятий. Состояние окружающей среды достаточно полно описывается лишь в крупных городах и промышленных зонах. В области регионального мониторинга наблюдения ведутся в основном Росгидрометом, имеющим разветвленную сеть во всех субъектах федерации, а также некоторыми другими ведомствами. Сеть фонового мониторинга, осуществляемого в рамках программы МАВ (*Man and Biosphere*), включает в себя 5 станций, расположенных в биосферных заповедниках.

Основными проблемами ЕГСЭМ России являются (из доклада начальника Управления мониторингом загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ на Рабочей группе ЕЭК ООН по мониторингу и оценке окружающей среды (Женева, 2006 г.)):

- недостаточно эффективное государственное регулирование деятельности субъектов ЕГСЭМ, что приводит к созданию «дублирующих» систем наблюдений и неэффективному расходованию ограниченных ресурсов, не обеспечивает получение сопоставимых данных для всей территории страны и т.д.;
- низкий технический уровень государственной наблюдательной сети, не отвечающий международным требованиям; изношенность оборудования.

Практически не охваченными сетью наблюдений остаются малые города, многочисленные населенные пункты, подавляющее большинство диффузных источников загрязнения, подавляющее большинство малых рек и др. Такие «белые пятна» на экологической карте России могут стать объектами общественного экологического мониторинга — практически

ориентированного, сконцентрированного на местных проблемах в сочетании с продуманной схемой и корректной интерпретацией полученных данных.

Программы государственного экологического мониторинга формируются по принципу выбора загрязняющих веществ. Выбор загрязнителей зависит от цели и задач конкретных программ: так, в территориальном масштабе приоритет государственных систем мониторинга отдан городам, источникам питьевой воды и местам нерестилищ рыб; в отношении сред наблюдений первоочередное внимание уделяется мониторингу атмосферного воздуха и воды пресных водоемов. Приоритетность ингредиентов определяется с учетом критериев, отражающих токсические свойства загрязняющих веществ, объемов их поступления в окружающую среду, особенностей их трансформации, частоты и величины воздействия на человека и биоту, возможности организации измерений и др.

2.2. Мониторинг снежного покрова

Загрязнение атмосферного воздуха — важнейший фактор, негативно влияющий на здоровье населения. Выбросы источников загрязнения городов и промышленных объектов переносятся воздушными потоками на значительные расстояния, определяя региональный фон загрязнения атмосферного воздуха на территории страны. Косвенным показателем состояния загрязнения атмосферы могут служить данные о химическом составе проб атмосферных осадков и снежного покрова. В России возможность использования снежного покрова в качестве косвенного индикатора состояния атмосферы в условиях урбанизированных территорий с множеством источников загрязнения доказана экспериментальными исследованиями, проведенными ИМГРЭ совместно с ИПГ на территории крупных городов (Методические..., 1982, 1990). Полученные данные характеризуют загрязнение слоя атмосферы, в котором образуются облака, происходит газообмен, из которого выпадают осадки и сухие вещества в отсутствие осадков. Данные о содержании веществ в снежном покрове являются единственными материалами для оценки регионального загрязнения атмосферы в зимний период на больших территориях страны и выявления ареала распространения техногенных токсикантов (Руководство..., 1991).

Наличие коррелятивных зависимостей между веществами-загрязнителями атмосферного воздуха и их содержанием в снежном покрове позволяют использовать этот тип депонирующей среды для экспрессной геоэкологической оценки общего уровня загрязнения урбанизированных районов.

На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области устойчивый снежный покров сохраняется достаточно долго — в течение 3–3,5 месяцев. Поэтому выбор снежного покрова как объекта исследований при геоэкологическом мониторинге можно считать оправданным. Кроме того,

снежный покров как депонирующая среда обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором при оценке экологического состояния территорий.

Геохимические аномалии в снежном покрове, по существу, отражают эколого-геохимическое состояние атмосферы, суммируя воздействие природных атмогеохимических (дегазация Земли), природно-техногенных атмогеохимических (газовые новообразования погребенных залежей торфа и др.) и техногенных факторов (выбросы предприятий), влияющих на динамику геохимической экологической функции литосферы во времени (Трофимов и др., 2006). Снежный покров отражает контуры аэрогенного загрязнения на период образования и позволяет судить о динамике происходящих процессов. Характеристики техногенных аномалий в таких депонирующих средах, как снежный покров, могут служить косвенным показателем загрязнения воздушного бассейна и прямо свидетельствуют об интенсивности геохимического преобразования приповерхностной части литосферы.

В период снеготаяния, находящиеся в снеге токсиканты мигрируют в поверхностные воды, донные осадки, почвы и подстилающие их горные породы, причем ареал их распространения значительно превышает контуры геохимических аномалий в снежном покрове.

Содержание элементов-загрязнителей (в т.ч. и тяжелых металлов) в снежном покрове колеблется в очень широком диапазоне, главным образом, в зависимости от степени антропогенного влияния.

Одна проба по всей высоте снежного покрова дает представительные данные о загрязнении за весь период от установления снежного покрова до момента отбора пробы, а послойный отбор проб снежного покрова позволяет получить динамику загрязнения за зимний сезон (Василенко и др., 1985).

Загрязнение снежного покрова происходит в результате влажного и сухого вымывания (осаждения) загрязняющих веществ из атмосферы. Под влажным вымыванием понимается захват поллютантов снегом во время его образования в облаке и последующее выпадение на подстилающую поверхность. В облаках смачиваемые частицы аэрозоля с радиусами менее 0,1 мкм становятся ядрами конденсации, вокруг которых происходит рост капель воды или кристаллов льда. Покидая облако, капли и снежинки уносят в себе аэрозольные частицы. С помощью этого процесса очищается слой атмосферы, в котором происходит формирование облаков. Вымывание загрязняющих веществ из нижележащих слоев атмосферы происходит за счет захвата частичек аэрозоля выпадающими осадками. Сухое выпадение загрязняющих веществ происходит под действием гравитационных сил непосредственно из атмосферы при ее контакте со снежным покровом.

Существенное влияние на процессы осаждения оказывают метеорологические условия: скорость и направление ветра, влажность воздуха и др. (Махонько и др., 1976). Большое значение имеют размеры частиц и высота, на которую они были подняты первоначально. Крупные частицы оседают

обычно в течение нескольких часов или суток, тем не менее, они могут переноситься на сотни километров, если изначально оказались на достаточной высоте (Феленберг, 1997).

Взаимоотношение между сухими и влажными выпадениями зависит от многих факторов: длительности холодного периода, частоты снегопадов и их интенсивности, физико-химических свойств загрязняющих веществ, размера аэрозолей и др. (Негробов и др., 2005). В связи с большой интенсивностью процессов влажного вымывания для регионального и глобального загрязнения доля сухих выпадений обычно составляет 10–30%. Однако вблизи локальных источников при больших выбросах грубодисперсных аэрозолей картина меняется на обратную, т.е. на долю сухих выпадений приходится от 70 до 90% (<http://www.murman.ru/ecology/krep/snow>).

Исследования, проведенные Миклишанским А. З., показали, что уровень концентрации пыли и микроэлементов в лежалом снеговом покрове в несколько раз выше, чем в свежеснеговом покрове (Миклишанский, 1978). Этот факт доказывает, что, с одной стороны, снеговой покров играет роль естественного планшета-накопителя атмосферной пыли за несколько зимних месяцев. А, кроме того, свидетельствует о том, что существенная часть накоплений в снеге формируется за счет сухого осаждения из приземного слоя атмосферы и носит преимущественно антропогенный характер. Таким образом, в результате процессов сухого и влажного вымывания концентрация загрязняющих веществ в нем оказывается обычно на 2–3 порядка величины выше, чем в атмосферном воздухе. Поэтому измерения содержания этих веществ могут производиться достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности.

Кроме того, относительная простота геохимической съемки позволяет проводить масштабные площадные исследования территории с целью оценки пространственного распределения загрязняющих веществ, определения геохимического фона и оконтуривания территорий с аномальными значениями исследуемых параметров.

С 1980 г. на базе снегомерной съемки Госкомгидромета в подсистеме Общегосударственной службы наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК) начал действовать мониторинг загрязнения снежного покрова (Василенко и др., 1985). Основной задачей сети наблюдений за загрязнением снежного покрова стал отбор проб снега для последующего определения концентраций загрязняющих веществ, получения количественных оценок объема выпадения и переноса веществ на территории СССР, а затем и Российской Федерации (включая трансграничный перенос). Были получены данные о масштабах и элементном составе пылевой составляющей снега на территории СССР (Василенко и др., 1985; Глазовский и др., 1983; Ковда и др., 1980; Остромогильский и др., 1981; Ветров и др., 1985; Ревич и др., 1981 и др.).

В настоящее время в составе большинства региональных Центров по мониторингу загрязнения окружающей среды (ЦМС) Росгидромета действуют подсистемы мониторинга снежного покрова; кроме того, данные о состоянии снежного покрова предоставляет стационарная сеть мониторинга атмосферных осадков и фоновые станции биосферных заповедников (табл. 5).

Контролируемыми примесями, общее число которых максимально составляет 32, при осуществлении мониторинга являются:

- диоксиды серы и азота, оксиды углерода и азота, взвешенные вещества (твердые частицы), бенз[а]пирен — во всех пунктах стационарной сети;
- озон, бензол, свинец — в отдельных пунктах по специальной программе;
- мышьяк, никель, кадмий, ртуть — единичные измерения.

Таблица 5

Мониторинг снежного покрова в рамках наблюдательной сети за качеством атмосферного воздуха Росгидромета

Виды наблюдений	Стационарная сеть	Определяемые параметры	Аналитические лаборатории
Атмосферные осадки: — кислотность; — химический состав;	123 133	Кислотность, химический состав, удельная электропроводность, метеорологические характеристики	10
Снежный покров (выпадения аэрозолей)	533	Ионы сульфата, нитрата аммония, рН, бенз[а]пирен, тяжелые металлы	-
Комплексный фоновый мониторинг (заповедники)	5	Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, поверхностных водах, осадках, почвах, биоте, метеорологические характеристики	1

Как уже говорилось выше, существуют серьезные проблемы при организации мониторинга, связанные с недостаточным техническим уровнем государственной наблюдательной сети, что сказывается на объеме, частоте проводимой снежной съемки, количестве определяемых загрязнителей.

Государственный экологический мониторинг в Санкт-Петербурге и Ленинградской области осуществляет ГУ «Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» (Санкт-Петербургский ЦГМС-Р), являющийся правопреемником Ленинградского областного гидрометеорологического бюро, образованного 10 июля 1930 г. В 1987 г. Бюро было преобразовано в Ленинградский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. А в 2002 г. образован Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями,

к которому в 2004 г. был присоединен Ленинградский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В структуру ГУ «Санкт-Петербургский ЦГМС-Р» входят: объединенные гидрометеорологические станции (ОГМС): Тихвин, Белогорка, Кингисепп, Кириши (последняя включает комплексную химическую лабораторию); метеорологические станции 2-го разряда (М-2): Винницы, Вознесенское, Ефимовская, Волосово, Лесогорский, Николаевское, Новая Ладога, Сосново, Лодейное поле; аэрологическая станция Воейково; гидрологические станции 1-го разряда (Г-1): Выборг, Любань; озерная станция Шлиссельбург.

Специалисты Санкт-Петербургского ЦГМС-Р занимаются проведением регулярных метеорологических, аэрологических, гидрологических, озерных, агрометеорологических, морских гидрометеорологических наблюдений; проводят наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод суши, почв, атмосферных осадков, снежного покрова, включая радиоактивное загрязнение.

Загрязненность снежного покрова отражает степень антропогенного воздействия на окружающую среду, так как снежный покров способен накапливать и сохранять вещества, поступающие с зимними осадками, что позволяет провести оценку поступления токсикантов в почвы. В связи с этим мониторинг загрязнения снежного покрова осуществляется и в рамках мониторинга земель. Так, в Республике Коми с 1994 г. действует единая система регулярного контроля за агроэкологическим состоянием почв в различных природно-климатических зонах, где проводят изучение состояния почвенного покрова и выполняют экогеохимическую оценку снежного покрова. Количественное сравнение конкретных загрязняющих веществ в снежном покрове с фоновыми территориями позволяет судить о степени аэротехногенного влияния промышленных предприятий на окружающую среду.

Для оценки пространственного распределения выпавших из атмосферы загрязнений в региональном масштабе используются данные спутниковых наблюдений. Снег обладает высокой отражательной способностью. Альбедо чистого снега составляет 0,7–0,9, а загрязненного уменьшается до 0,2–0,1. В связи с этим на космических снимках загрязненные участки снега выглядят как более темные пятна, причем, чем выше уровень загрязнения, тем темнее изображение на снимках. Ореолы загрязнения снежного (и почвенного) покровов техногенного происхождения хорошо заметны вокруг городов, промышленных предприятий, районов добычи и переработки полезных ископаемых, крупных автострад. Региональный космический мониторинг особенно важен при изучении малоосвоенных и заболоченных территорий. Ценность космических наблюдений заключается в том, что они дают обобщенную картину регионального антропогенного воздействия на

территорию. При этом космическая информация значительно нагляднее и убедительнее, чем сведения, содержащиеся на подробных картах.

Мониторинг загрязнения снежного покрова осуществляется и за рубежом. Так, департамент гидрометеорологии Минприроды Республики Беларусь в рамках национальной системы мониторинга окружающей среды осуществляет наблюдения за региональными и глобальными потоками загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, атмосферных осадках и снежном покрове в 16 городах, в которых проживает 65% городского населения республики. Мониторинг состояния атмосферных осадков и снежного покрова Республики Казахстан проводится в соответствии с программой Всемирной метеорологической организации (ВМО) на 43 метеостанциях (химический состав снежного покрова — 35 метеостанций).

2.3. Мониторинг почвенного покрова

Для более полного и всестороннего исследования состояния окружающей среды важно проследить дальнейшую судьбу тяжелых металлов после таяния снежного покрова, так как значительная их часть попадает в почвы, поверхностные и подземные воды и в живые организмы.

Общеизвестно, что почва — самостоятельное природное тело, комплексная система, обладающая особыми свойствами, развивающимися в результате действия факторов почвообразования: материнской породы, климата, растительного, животного мира и микроорганизмов, рельефа, возраста почв, действия почвенных и грунтовых вод, хозяйственной деятельности человека. Почва возникла и развивается на стыке взаимодействующих литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы и находится с ними в непрерывном обмене веществом, энергией и информацией. В почве происходит перераспределение химических элементов и их соединений. По сути, почва играет роль буфера, регулируя процессы миграции веществ в ландшафтах. Так, кислые почвы могут нейтрализовать щелочные соединения, карбонатные — кислотные выпадения из атмосферы и др. (Орлов и др., 2000).

Химический состав почв зависит от состава материнских пород, от протекания почвенных процессов и от особенностей антропогенной нагрузки. Попадание токсикантов в почву происходит следующими путями: с атмосферными осадками; в результате осаждения в виде пыли и аэрозолей; за счет поверхностных сбросов твердых бытовых отходов; за счет промышленных, оросительных, канализационных стоков, стока с дорог, сельскохозяйственных полей и др.; за счет просачивания из подземных хранилищ нефтепродуктов, токсичных отходов и т.п.; при непосредственном поглощении почвой газообразных соединений; с растительным опадом.

Антропогенные загрязнения приводят к изменению качественного состава и свойств почв, в первую очередь биологических: уменьшается общая численность микроорганизмов, сужается их видовой состав, изменя-

ется структура микробиоценозов, снижается интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов. Изменяются и более консервативные свойства почв: содержание гумуса, структура, кислотность и др. В итоге это приводит к частичной, а в некоторых случаях и к полной утрате плодородия.

В зависимости от почвенно-геохимических условий токсиканты, поступающие в почвенные горизонты с техногенными потоками, задерживаются в верхнем гумусовом горизонте; мигрируя, достигают материнских пород; попадают в подземные воды, влияя на их химический состав; вызывают вторичное загрязнение атмосферы; проникают в трофические цепи и организм человека. Загрязняющие вещества накапливаются в почве сравнительно быстро, а выводятся крайне медленно: период полуудаления цинка из почвы достигает 500 лет, меди — 1500 лет, свинца — нескольких тысяч лет (<http://www.ecolife.org.ua>).

Почва является начальным звеном пищевой цепи. В настоящее время, используя почвы, человек получает порядка 90% пищевых ресурсов. Постоянное потребление растительной продукции даже со слабо загрязнённых почв может приводить к кумулятивному эффекту, то есть к постепенному увеличению содержания тяжелых металлов в живых организмах. Известно, что с продуктами питания в организм человека поступает более 70% токсических веществ. Таким образом, почва является своеобразным «накопителем» токсикантов и опосредованно оказывает существенное воздействие на здоровье человека.

Можно говорить о том, что почва относится к наиболее стабильным накопительным компонентам среды в биогеохимическом круговороте веществ, поэтому мониторинг изменения состава почвы позволяет рассматривать ее как наиболее точный индикатор состояния всего природного ландшафта.

Вместе с тем изучение почвы как объекта антропогенного воздействия, в связи со сложностью и многообразием происходящих в ней процессов, сопряжено с рядом трудностей. Количественная зависимость между концентрацией элемента в загрязняющем выбросе и содержанием его в почве гораздо сложнее, чем соотношение «выброс — снежный покров». И если анализ содержания поллютантов в снежном покрове выявляет вклад текущего загрязнения, позволяет проследить контуры загрязнения на период опробования и динамику происходящих процессов, то такой же анализ почвы дает интегральные значения загрязняющих веществ за весь период генезиса почвенного слоя, отражает эффект многолетнего антропогенного воздействия на территорию.

Глава 3. ПОЛЕВЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Организация деятельности студентов в ходе геоэкологического практикума

Геоэкологический практикум предназначен для студентов дневного отделения естественнонаучных факультетов вузов и проводится в рамках учебных дисциплин «Геоэкология», «Методы исследования окружающей среды» и т.п. или в ходе полевой геоэкологической практики.

Целью практикума является освоение методов геоэкологического мониторинга.

Основные задачи, решаемые в ходе геоэкологического практикума;

- 1) освоение методов отбора проб снежного и почвенного покровов;
- 2) освоение методов пробоподготовки и инструментального анализа образцов;
- 3) освоение методов статистической обработки результатов исследования;
- 4) развитие умений анализа полученных данных, выявления закономерностей изучаемых процессов и явлений, написания научно-технического отчета.

Темами геоэкологического практикума в зависимости от конкретных условий (подготовленность студентов, временные ограничения, разрабатываемые преподавателями и аспирантами кафедры научно-исследовательские проекты) могут быть:

- Оценка экологического состояния территории;
- Оценка влияния техногенного объекта (ТЭЦ, ГОК, завод, автомагистраль, очистные сооружения, свалка ТБО и др.) на состояние окружающей среды;
- Геохимическое картирование территории;
- Сравнительная характеристика экологического состояния территорий с разной антропогенной нагрузкой и др.

Практикум проводится в конце февраля – начале апреля, рассчитан на 36 часов, в том числе часы на самостоятельную работу студентов, и включает в себя 6 этапов: вводная лекция, полевые работы, лабораторно-аналитические работы, камеральная обработка, обобщение и анализ результатов исследования, написание отчета (табл. 6).

Полевые работы в зависимости от темы исследования, технических и временных возможностей могут проводиться:

- на территории вуза и на территории, прилегающей к вузу;

- в микрорайонах города с разной техногенной нагрузкой (центральные, промышленные, спальные районы, лесопарковая зона);
- в окрестностях города: на территориях сельскохозяйственного освоения, территориях, прилегающих к промышленным объектам, авто- и железнодорожным магистралям, в районных центрах.

Лабораторно-аналитические работы для студентов РГПУ им. А. И. Герцена проводятся на базе лаборатории Геохимии окружающей среды им. А. Е. Ферсмана кафедры геологии и геоэкологии факультета географии.

Таблица 6

Геоэкологический практикум: тематический план

№ этапа	Наименование работ	Содержание работ	Количество часов
1	Вводная лекция	Определение актуальности, целей, задач, методов исследования, последовательности и содержания этапов работ	2
2	Полевые работы	Отбор, спутниковая привязка, маркировка и описание образцов	4
3	Лабораторно-аналитические работы	Подготовка образцов к анализу; измерение общей минерализации и рН талой воды, рН водной почвенной вытяжки; определение массы пылевой составляющей снежного покрова; количественный рентгенофлуоресцентный анализ содержания микроэлементов	18
4	Камеральная обработка, обобщение и анализ результатов исследования	Математико-статистический анализ; построение картосхем, таблиц, графиков и диаграмм; привлечение результатов дополнительных методов исследования, баз аналитических данных прошлых лет. Оценка геоэкологической ситуации в районе исследования	6
5	Написание отчета	Отчет должен включать описание всех этапов работ, фактические материалы, полученные результаты и выводы	6

Для выполнения практикума студенты объединяются в бригады по 3–5 человек. Для каждой бригады определяется свой район исследования. Каждая бригада выполняет все этапы работ, включая написание отчета по практикуму, совместно, при этом каждый из студентов должен освоить все методы и методики исследования.

3.2. Методы отбора проб

Прежде, чем начинать сбор образцов снежного и почвенного покрова, необходимо определить:

- 1) каким способом будут отбираться пробы;
- 2) какое количество проб должно быть отобрано.

Существует несколько способов отбора проб:

- 1) *площадная съемка*, при которой образцы снежного и почвенного покровов отбираются по равномерной сети пунктов наблюдения. Такой способ позволяет проводить геохимическое картирование, выделять ареалы геохимических аномалий, выявлять источники загрязнений и, в целом, дает наиболее достоверную информацию об экологическом состоянии территории. Сеть опробования должна обеспечивать выявление важнейших очагов загрязнения. Для крупных городов с развитой разнопрофильной промышленностью рекомендуется плотность отбора 1–5 проб на 1 км². Такая сеть обеспечивает выявление очагов загрязнения, связанных с промышленными зонами, или крупными отдельно стоящими предприятиями. В пределах таких очагов загрязнения с целью установления территорий с наибольшей степенью загрязнения сеть опробования сгущается до 25–30 проб на 1 км². При изучении распространения промышленных выбросов, точки отбора проб размещаются на участках с минимальным влиянием автомагистралей (на расстоянии не менее 20–25 м от края проезжей части), при изучении влияния автотранспорта — на примагистральных территориях (Методические ..., 1990);
- 2) *профильная съемка*, при которой пробы отбираются вдоль профилей, проложенных, например, вдоль векторов «розы ветров» от ТЭЦ, крупного завода, автомагистрали, мусоросжигающего завода и др. Результаты такой съемки позволяют проследить изменение концентраций токсикантов, значений рН и других показателей по мере удаления от техногенного объекта, определить зоны и степень его влияния на окружающую среду;

В зависимости от темы и целей конкретного исследования выбирается один из этих способов.

При определении количества отбираемых проб необходимо руководствоваться, с одной стороны, требованиями государственных стандартов, методических указаний и рекомендаций по отбору образцов природных сред, а с другой — требованиями статистики, которые говорят о том, что большинство статистических закономерностей проявляются только в массовых явлениях. Установлено, что надежность статистических оценок резко снижается при уменьшении объема выборки в диапазоне от 60 до 30–20 наблюдений, а при меньшем количестве измерений применять статистические методы в большинстве случаев вообще не имеет смысла (Смоленский, 2011). Таким образом, с учетом конкретных условий проведения геоэкологического практикума, количество образцов каждой из депонирующих сред (снежного и почвенного покрова) должно быть не менее 30.

При *отборе проб снежного покрова* необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

- 1) ГОСТ 17.1.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков;

2) Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (Ревич, Саэт и др., 1990).

3) Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89 (действует с 01.07.1991). — М.: Госкомгидромет, 1991.

Отбор проб снежного покрова производится в период его максимального накопления, незадолго до периода снеготаяния (конец февраля — март) на открытых местах, на расстоянии не менее 500 м от ближайшего источника антропогенного воздействия (в лесу — на больших полянах).

Отбор проб производят на участке 5х5 м методом «конверта»; пробы отбираются на всю мощность из шурфов или снегоотборниками из химически стойкого полимерного материала, при этом с поверхности удаляется мусор (листья, ветки и др.), исключается попадание в образец частиц почвы.

Из отобранных проб составляется сборная проба, весом не менее 2 кг, которая помещается в емкость из химически стойкого полимерного материала (например, в полиэтиленовый пакет) и маркируется (рис. 1).

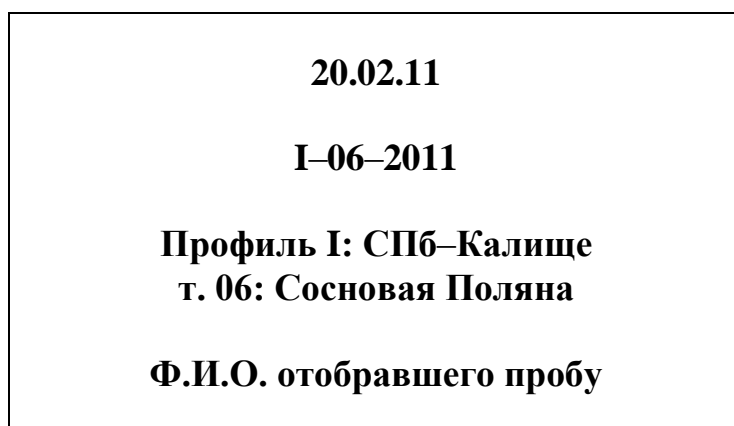


Рис. 1. Образец этикетки для маркировки пробы

При отборе проб фиксируются и заносятся в таблицу фактических данных (табл. 7) следующие параметры:

- дата отбора, которая позволяет определить время, за которое накопились в снегу атмосферные выпадения. Время рассчитывается от даты установления устойчивого снежного покрова (по данным гидрометеослужбы);
- координаты точки пробоотбора, определенные с помощью GPS-навигатора (координаты определяются в центре участка 5х5 м);
- место отбора (адрес, географическая привязка к местности);
- погодные условия;
- высота снежного покрова;
- размеры шурфа по длине и ширине для расчета площади, на которую затем проектируются пылевые выпадения из атмосферы.

Таблица 7

Снежный покров. Таблица фактических данных

Дата отбора «__» _____ 201__ г. Ф.И.О. _____ курс ____ группа _____									
Номер пробы	Место отбора	Координаты		Погодные условия	Высота снежного покрова, м	Площадь отбора пробы, м ²	Общая минерализация талой воды, г/л	рН талой воды	Вес пыли, мг/м ² в сутки
		в.д.	с.ш.						

Транспортировка образцов в лабораторию для проведения химико-аналитических работ должна производиться в оптимально короткие сроки. Если не планируется немедленное проведение лабораторных работ, для предотвращения таяния снега образцы должны быть помещены в морозильную камеру.

При **отборе проб почвенного покрова** необходимо руководствоваться ГОСТом 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

Пробы почвенного покрова отбираются методом «конверта» одновременно с пробами снежного покрова в тех же точках отбора.

Места отбора должны быть полностью очищены от снега и растительности.

Пробы отбираются с помощью ножа, шпателя или почвенного бура, не содержащих металлов, из верхнего (0–5 см) горизонта, к которому приурочена максимальная концентрация загрязняющих веществ, поступающих из приземных слоев атмосферы.

Из отобранных проб составляется сборная проба весом не менее 500 г, которая помещается в полиэтиленовый пакет и маркируется (рис. 1).

При отборе проб фиксируются и заносятся в таблицу фактических данных (табл. 8) координаты, географическая привязка точки отбора проб, тип почвы и характер растительности.

Таблица 8

Почвенный покров. Таблица фактических данных

Дата отбора «__» _____ 201__ г. Ф.И.О. _____ курс ____ группа _____						
Номер пробы	Место отбора	Координаты		Тип почвы	Характеристика растительного покрова	рН водной вытяжки
		в.д.	с.ш.			

3.3. Методы подготовки проб для рентгенофлуоресцентного анализа

При *пробоподготовке образцов снежного покрова* необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

1) ГОСТ 17.1.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков;

2) Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве (Ревич, Саэт и др., 1990);

3) М049–В/03. Методика выполнения измерений массовой концентрации ванадия, висмута, железа, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома, цинка в питьевых, природных и сточных водах рентгенофлуоресцентным методом после концентрирования на целлюлозных ДЭТАТА–фильтрах («НПО „Спектрон”, 1999).

Пробы снежного покрова переводят в талую воду при комнатной температуре в емкостях из химически стойкого полимерного материала. Время таяния снега при комнатной температуре составляет 6–12 часов, что соответствует «быстрому таянию», примененному в целях минимизации сорбции вещества пробы на стенках сосуда и уменьшению перехода взвешенных веществ в растворимые формы (Глазовский и др., 1983).

Для последующего определения концентраций водорастворимых форм тяжелых металлов методом рентгенофлуоресцентного анализа пробоподготовку проводят в следующей последовательности.

После энергичного перемешивания производятся измерения общей минерализации талой воды с помощью кондуктометра и кислотнo-щелочной реакции (рН) с помощью рН–метра. Результаты определения заносятся в таблицу фактических данных (табл. 7).

Далее производят следующие действия:

- фильтрация талой воды через мембранный фильтр «синяя лента» с диаметром пор 1 мкм (предварительно взвешенный на электронных аналитических весах), удерживающий нерастворимую фракцию (пыль), для дальнейшего определения веса пыли;
- энергичное перемешивание пробы;
- нагревание 400 дм³ талой воды в термостойкой стеклянной колбе до температуры 60°С;
- перегонка пробы на концентраторе жидких проб Д–01.

Примечание: вся используемая посуда должна быть чисто вымыта. Последние два споласкивания должны производиться дистиллированной водой.

В результате перегонки пробы на приборе Д–01 НПО «Спектрон» происходит образование тонкослойных концентратов тяжелых металлов на сорбционных целлюлозных ДЭТАТА–фильтрах, которые в дальнейшем

анализируются рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС».

Мембранный фильтр «синяя лента» с осевшей на нем пылевой фракцией высушивается и повторно взвешивается на электронных весах для определения веса атмосферной пыли, выпавшей за период от начала снегопада до времени отбора проб на площадь шурфа, пересчет веса пыли (P) на единицу площади в единицу времени производится по формуле:

$$= \frac{P}{S \cdot T} \frac{P_a}{P_a}$$

где P_a — вес пыли, осажденной снегом, S — проективная площадь осадения, T — временной интервал в сутках между моментом опробования и датой установления устойчивого снежного покрова (Методические..., 1990).

Результаты определения веса пыли на единицу площади в единицу времени заносятся в таблицу фактических данных (табл. 7).

При **пробоподготовке образцов почвенного покрова** необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

1) ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

2) М049–П/04. Методика выполнения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа / ООО «НПО Спектрон». — СПб., 2002.

Отобранные пробы почв подготавливаются к рентгенофлуоресцентному анализу в последовательности, которая изложена ниже.

Из почвенной пробы удаляют корни, камни, др. и «квартуют». Для этого пробу раскладывают ровным слоем толщиной 1,5–2,0 см так, чтобы получился квадрат, который делят диагоналями на четыре треугольника. Содержимое двух противоположных треугольников выбрасывают, а двух других объединяют. Квартование продолжают до тех пор, пока очередная порция после объединения не будет равна по массе примерно 300 г.

Затем проба перекалывается в термо- и химически стойкую посуду, на которой подписывается шифр пробы. Посуда с пробой помещается в сушильный шкаф и при температуре 105°C высушивается до воздушно-сухого состояния.

Высушенную пробу необходимо слегка размять пестиком, после чего просеять через сито с диаметром ячейки 0,25 мм.

Проситованный образец измельчается до размерности пудры на дисковом истирателе ЛДИ–65 или вручную в химически стойкой ступке.

Из 2 г истертой пробы с помощью гидравлического пресса готовится таблетка для рентгенофлуоресцентного анализа.

Оставшуюся часть пробы следует высыпать в пакетик, на котором написать шифр пробы, пакетик поместить в архив.

Примечание: вся используемая посуда после каждой пробы должна быть чисто вымыта, высушена и протерта спиртовым раствором.

3.4. Методика определения кислотно-щелочной реакции (рН) водной почвенной вытяжки

Определение кислотно-щелочной реакции (рН) водной вытяжки почвенных образцов производится по ГОСТу 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.

Образцы проб почв должны быть предварительно очищены от остатков растений, камешков и других инородных предметов, доведены до воздушно-сухого состояния, измельчены и пропущены через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Перед взятием навески пробы необходимо тщательно перемешать и квартовать.

Подготовленная проба почвы массой 30 г, взвешенная с погрешностью не более 0,1 г, помещается в коническую колбу. К пробе приливается дозатором по 150 мл дистиллированной воды.

Если вес пробы почвы меньше 30 г, соотношение с водой должно сохраняться как 1:5, что не возбраняется ГОСТом.

Почву с водой необходимо перемешать в течение 5 мин на ротаторе и оставить на 10 мин до отстаивания.

После отстаивания часть почвенной суспензии сливается в химический стаканчик вместимостью 50 см³ и проводится измерение рН.

Настройка рН–метра проводится по трем буферным растворам с рН 4,01, 6,86 и 9,18, приготовленным из стандарт-титров. Показания прибора считываются не ранее чем через 1,5 мин после погружения электродов в измеряемую среду, после прекращения дрейфа измерительного прибора. Во время работы настройку прибора периодически необходимо проверять по буферному раствору с рН=6,86.

Результаты определения кислотно-щелочной реакции (рН) водной вытяжки почвенных образцов заносятся в таблицу фактических данных (табл. 8).

По величине щелочности почвы делятся на:

- слабощелочные (рН=7–8);
- щелочные (рН=8–9);
- сильнощелочные (рН=9–11).

По величине кислотности почвы делятся на:

- сильнокислые (рН<4,5);
- среднекислые (рН=4,6–5,0);
- слабокислые (рН=5,1–5,5);
- близкие к нейтральным (рН>5,6).

3.5. Метод рентгенофлуоресцентного анализа

Отобранные образцы снежного покрова и почв анализируются в лаборатории Геохимии окружающей среды имени А.Е Ферсмана рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС–GV». Этот аппарат относится к приборам рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Это означает, что в его работе используется источник первичного рентгеновского излучения (рентгеновская трубка) для облучения анализируемого объекта, в результате чего сам объект начинает излучать (флуоресцировать) в рентгеновском диапазоне.

Спектральный состав этого вторичного излучения адекватно отражает элементный состав анализируемого образца. Атомы того или иного химического элемента имеют свои, характерные только для данного элемента спектральные линии. Таким образом, наличие или отсутствие в спектре тех или иных линий говорит о присутствии соответствующих химических элементов, а измерение «яркости» этих линий позволяет количественно оценить концентрацию данного элемента.

Для анализа образцов снежного покрова в качестве методической основы используется «Методика выполнения измерений массовой концентрации ванадия, висмута, железа, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома, цинка в питьевых, природных и сточных водах рентгенофлуоресцентным методом после концентрирования на целлюлозных ДЭТАТА–фильтрах» (М049–В/03. — СПб.: ООО «НПО „Спектрон”», 1999).

Методика, разработанная фирмой–изготовителем спектрометра ООО «НПО «СПЕКТРОН», позволяет выполнять измерения массовых концентраций ионов Bi, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Fe, Cr, V как в валовой, так и в водорастворимой фазе снега. В ходе геоэкологического практикума определяются концентрации элементов в водорастворимой фазе.

В таблице 9 и на рисунке 2 приведены результаты калибровочных исследований, проведенных для серии стандартных растворов, содержащих различные концентрации тяжелых металлов. После пропускания соответствующего количества раствора через ДЭТАТА–фильтры была получена серия эталонов, содержащих 0,0025, 0,010, 0,025, 0,05, 0,075 и 0,1 мг определяемых элементов на фильтре. Как видно из полученных данных, с наибольшей чувствительностью определяются Cu, Zn, Fe, Ni и Co, имеющие на калибровочных графиках наибольшие угловые коэффициенты (параметр «b_i» в калибровочном уравнении табл. 9). При этом относительная ошибка составляет 2–5% (кроме марганца) (Петров, 2004).

Данная методика обеспечивает получение результатов анализа с погрешностями, не превышающими значений, рассчитанных по соотношениям, приведенным в таблице 10.

Таблица 9

Статистические параметры калибровочных уравнений $M_i \text{ (мг)} = a_i + b_i (\Gamma_{\text{эл}} - \Gamma_{\text{ф}})$, отражающих зависимость между массой i -го элемента m_i на фильтре и интенсивностью характеристического излучения анализируемого элемента $\Gamma_{\text{эл}}$ с учетом фона $\Gamma_{\text{ф}}$

i	a_i	$\pm \sigma_a$	b_i	$\pm \sigma_b$	$V_b \%$	R_i
Bi	-58,1	21,6	12391	385	3,11	0,998
Pb	-40,1	26,4	15655	471	3,01	0,998
V	-5,62	8,71	4793	155	3,23	0,998
Cr	-10,3	9,6	7876	171	2,17	0,999
Fe	1,61	72,6	42841	1295	3,02	0,998
Mn	109	48,0	8487	856	10,09	0,980
Ni	-6,55	55,6	32244	992	3,08	0,998
Co	66,5	54,4	32881	971	2,95	0,998
Cu	487	133	49452	2380	4,81	0,995
Zn	116	68,9	44582	1229	2,76	0,998

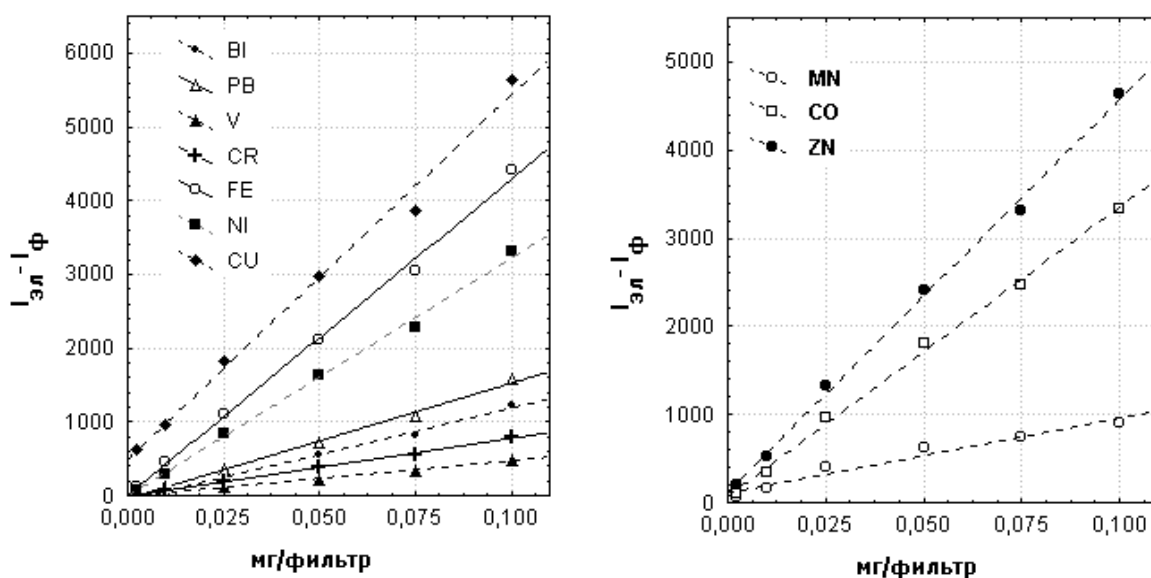


Рис. 2. Калибровочные графики зависимостей интенсивности характеристического излучения элементов от их количества на ДЭТАТА-фильтре (Петров, 2004)

Вычисление и оформление результатов анализа проводят в соответствии с программой количественного анализа в режиме «анализ».

Для двух параллельных определений получают два значения концентрации X^1 и X^2 и рассчитывают среднее арифметическое: $X_{cp} = (X^1 + X^2)/2$.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб снежного покрова, пересчитанные из мг/фильтр в мг/дм³, заносятся в таблицу *Excel* (табл. 11).

Таблица 10

Характеристика погрешности измерений

Элемент	Диапазон измерений массовой концентрации		Границы абсолютной погрешности мг/дм ³
	мг/дм ³	мг/фильтр	
Висмут	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0018+0,36x
Свинец	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0014+0,38x
Цинк	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0014+0,34x
Медь	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0020+0,32x
Никель	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0012+0,4x
Кобальт	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0016+0,38x
Железо	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0018+0,36x
Марганец	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,002+0,36x
Хром	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0018+0,38x
Ванадий	0,01-5,0	0,0025-0,1	0,0016+0,42x

X мг/дм³ – результат анализа.

Таблица 11

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб снега, мг/ дм³

Номер пробы	Bi	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V
I-06-2011										

Методической основой для *анализа образцов почвы* является «Методика выполнения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа» (М049–П/04. — ООО «НПО „Спектрон”». — СПб., 2002).

Эта методика позволяет измерять концентрации таких элементов, как V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb, Y, Nb, Rb, Ba, La, Zr, а также оксидов: TiO₂, MnO, Fe₂O₃, CaO₂, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, MgO, Na₂O Диапазон измерений массовой доли определяемых элементов и оксидов колеблется в пределах 20–610 ppm. Границы интервала ($\pm\Delta$), в котором с доверительной вероятностью P=0,95 находится погрешность результата измерений массовой доли определяемого компонента, вычисляют по формулам, приведенным в таблице 12.

Таблица 12

Зависимость Δ от массовой доли компонента С

Определяемый элемент	Диапазон измерений массовой доли определяемого компонента от–до	Зависимость Δ от массовой доли компонента С
TiO ₂	0,25–1,6%	0,02+0,097C
MgO	0,2–3,0%	0,03+0,175√C
Al ₂ O ₃	3,0–18%	0,42+0,207√C
SiO ₂	50–92%	-0,72+0,465√C

Определяемый элемент	Диапазон измерений массовой доли определяемого компонента от–до	Зависимость Δ от массовой доли компонента С
P ₂ O ₅	0,035–0,21%	-0,023+0,176√C
K ₂ O	0,9–2,6%	-0,11+0,181√C
CaO	0,15–12%	0,04+0,19√C
V	10–180 ppm	-6,4+3,09√C
Cr	80–180 ppm	-2+2,5√C
MnO	100–950 ppm	-1,7+1,72√C
Fe ₂ O ₃	1,0–8,0%	0,08+0,064C
Co	10–150 ppm	2,5+0,327C
Ni	10–40 ppm	-0,18+0,43C
	41–380 ppm	10+0,2C
Cu	20–72 ppm	9,7+4,7√C
	73–310 ppm	-23+6,75√C
Zn	10–80 ppm	-0,6+1,64√C
	81–610 ppm	-17+3,44√C
As	20–30 ppm	-5,7+3,27√C
	31–60 ppm	-1+0,436√C
Sr	50–310 ppm	-40,6+8,56√C
Pb	25–280 ppm	-6+4,42√C

Процентное содержание (%) определяемых оксидов металлов необходимо пересчитать в массовое содержание (мг/кг) с помощью коэффициентов, приведенных в таблице 13.

Таблица 13

Коэффициенты пересчета элементных и оксидных содержаний (% масс.)

Элемент – оксид	Коэффициент	Оксид – элемент	Коэффициент
Al→Al ₂ O ₃	1,88988	Al ₂ O ₃ →Al	0,52913
Ba→BaO	1,11648	BaO→Ba	0,89567
Ca→CaO	1,39920	CaO→Ca	0,71469
Ca→CaCO ₃	2,29726	CaCO ₃ →Ca	0,40044
Co→CoO	1,27146	CoO→Co	0,78650
Cr→Cr ₂ O ₃	1,46145	Cr ₂ O ₃ →Cr	0,68425
Cs→CsO ₂	1,06020	CsO ₂ →Cs	0,94323
Fe ⁺² →FeO	1,28648	FeO→Fe ⁺²	0,77731
Fe ⁺³ →Fe ₂ O ₃	1,42972	Fe ₂ O ₃ →Fe ⁺³	0,69944
FeO→Fe ₂ O ₃	1,11135	Fe ₂ O ₃ →FeO	0,89981
		FeS→Fe	0,63327
K→K ₂ O	1,20462	K ₂ O→K	0,83013
Li→Li ₂ O	2,15274	Li ₂ O→Li	0,46452
Mn→MnO	1,29128	MnO→Mn	0,77443
Mg→MgO	1,65789	MgO→Mg	0,60317
Na→Na ₂ O	1,34787	Na ₂ O→Na	0,74191
Ni→NiO	1,27262	NiO→Ni	0,78578
P→P ₂ O ₅	2,29116	P ₂ O ₅ →P	0,43646
Rb→Rb ₂ O	1,09359	Rb ₂ O→Rb	0,91442
Si→SiO ₂	2,14041	SiO ₂ →Si	0,46720
Sr→SrO	1,18259	SrO→Sr	0,84560
Ti→TiO ₂	1,66806	TiO ₂ →Ti	0,59950
Zr→ZrO ₂	1,35080	ZrO ₂ →Zr	0,74030

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб почвенного покрова заносятся в таблицу *Excel* (табл. 14).

Таблица 14

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб почвы, мг/кг

Номер пробы	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe ⁺³	Mn	Cr	V	Ti	As	Sr
I-06-2011												

Глава 4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Статистическая обработка и анализ результатов

Статистическая обработка геохимической информации предпринимается для более глубокого изучения структуры случайной изменчивости данных и для получения новых, дополнительных сведений об особенностях распределения содержаний одновременно большой группы микроэлементов.

При анализе результатов геоэкологических исследований встает вопрос о том, с какими величинами сравнивать полученные данные, и, в первую очередь, какую величину принять за *геохимический фон территории*. На этот счет существуют различные точки зрения. Так, по мнению В.Н. Василенко, при исследовании атмосферных выпадений вопрос о фоне в локальном, региональном или глобальном масштабах наиболее обоснованно может быть решен с помощью исторического мониторинга, в основе которого лежит использование природных стратифицируемых планшетов — торфа, толщ льда, донных и солевых отложений и др., находящихся в тех районах, где современное промышленное загрязнение заведомо невысокое. С помощью этих планшетов, накапливающих атмосферные выпадения в течение многих сотен или тысяч лет, имеется возможность проверить их количество в исторической ретроспективе, используя в качестве контроля древние датированные слои, когда уровень глобального антропогенного загрязнения был низок (Василенко и др., 1985).

Можно выделить три основных подхода к решению проблемы геохимического фона. За фоновое содержание элементов можно принять:

- 1) Средний химический состав депонирующей среды в региональном или глобальном масштабе по общепринятым данным (Махонько и др., 1976; Беус и др., 1981 и др.). Для почвенного покрова — это средний состав почв, например, Европейской части России; донных осадков — кларк осадочных пород (Виноградов, 1962; Складов и др., 2001); для снежного покрова возможно использование результатов, полученных на фоновых станциях государственного экологического мониторинга. Таких станций в настоящее время в России действует пять и все они расположены вне пределов изучаемого региона. Ближайшая станция многолетнего фонового мониторинга находится в восточной Финляндии в г.Хиятаярви в 350 км на север от Санкт-Петербурга.
- 2) Средний химический состав депонирующей среды выбранного в ходе исследования наименее загрязненного участка. Такой способ подходит в том случае, когда наблюдается существенная дифферен-

циация всей исследуемой территории по степени загрязнения и, очевидно, что один из ее участков значительно «чище» других.

- 3) Осредненные во времени (Николаевский, 1978; Василенко и др., 1985) и/или в пространстве (Инструкция..., 1983; Василенко и др., 1985; Дмитриев, 1995; Шахвердов, Кулаков, 2002) данные. В качестве таких данных может быть использовано среднее гармоническое, система расчета которого позволяет существенно снизить роль аномальных значений в ряду данных, поэтому его величина может быть принята как оптимальная для оценки регионального фона (Спиридонов и др., 2004). Одним из наиболее объективных способов расчета геохимического фона является определение региональных фоновых значений с помощью статистического аппарата геоинформационных систем (ГИС) картографирования геоэкологической обстановки (Лебедев, 2008; Zarina, Lebedev et al., 2011).

Так, по результатам мониторинга снежного покрова Санкт-Петербургского региона в 2008–2009 гг. с помощью ГИС *ArcGIS* с модулем *Spatial Analyst* были построены карты распределения ванадия, хрома, железа, никеля, меди, цинка, свинца и висмута в снеге, определены региональные фоновые значения и выявлены геохимические аномалии.

На рисунке 3 показана карта распределения содержания свинца в пределах Санкт-Петербургского региона. На рисунке 4 — частотная характеристика распределения содержания свинца по ячейкам интерполированного растра.

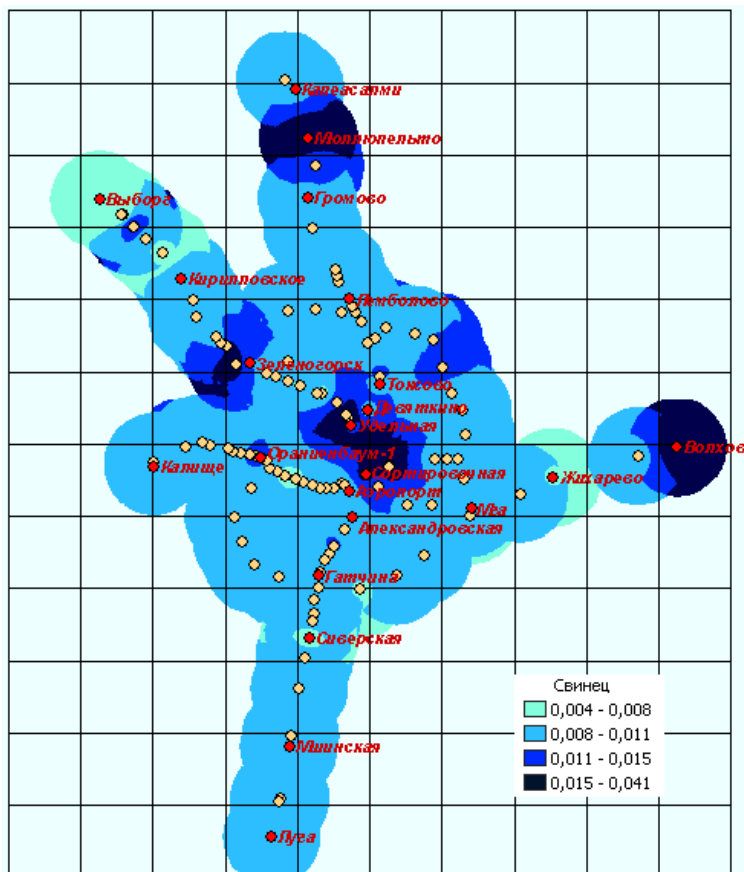


Рис. 3. Карта распределения содержания свинца (мг/кг) в снежном покрове Санкт-Петербургского региона

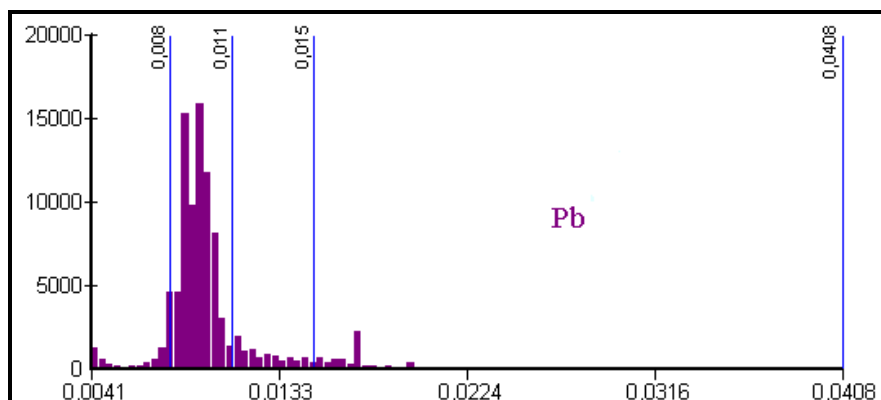


Рис. 4. Частотная характеристика распределения содержания свинца и границы интервалов классификации

Обоснование и выбор интервалов классификации исследуемого параметра имеет важное значение при интерпретации данных статистической обработки. Было задано 4 интервала классификации. Границы интервалов определяли по методу естественных границ (*Jenks natural breaks*). Первые два класса содержаний свинца (в данном случае до 0,008 и от 0,008 до 0,011 мг/кг) соответствуют фоновым значениям поллютанта. Другие два класса – сноухимическим аномалиям.

Как видно из рисунка 3, на большей части исследуемой территории содержания свинца соответствуют фоновым значениям. В то же время, отмечаются сноухимические аномалии на территории пригородов Санкт-Петербурга и г.Волхов, а также в районе станций Мюллюпельто, Лебедевка, Ушково. Статистическая обработка материалов исследований позволила определить, исходя из характера пространственного распределения тяжелых металлов в пределах региона, фоновые значения элементов (мг/кг) и среднеквадратическую абсолютную погрешность определения фона (σ). Результаты статистической обработки представлены в таблице 15.

Таблица 15

Фоновые значения элементов и среднеквадратическое отклонение от фона, Санкт-Петербургский регион, мг/кг

Элемент	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Bi
Фон	0,004	0,006	0,011	0,002	0,015	0,013	0,009	0,012
Среднеквадр. погрешность (σ)	0,001	0,001	0,004	0,001	0,005	0,010	0,001	0,003

При геоэкологических исследованиях статистическая обработка полученных результатов в большинстве случаев осуществляется с помощью пакета прикладных программ *Statistica 6.0* методами многократной корреляции, кластерного и факторного анализа. В качестве наглядного примера использования математической статистики при обработке многомерной информации предла-

гается анализ содержания тяжелых металлов в снежном покрове Сестрорецкой геосистемы по результатам мониторинга 2006–2008 гг. (Gildin et al, 2010)

Первичная статистическая обработка материалов исследований позволила определить фоновые значения элементов (мг/кг), стандартный множитель (ε), минимальные и максимальные значения для каждого элемента. Результаты статистической обработки представлены в таблице 16.

Таблица 16

Данные статистической обработки результатов анализа проб снежного покрова опорного участка Сестрорецкая геосистема, 2006–2008 гг., мг/л

Элемент	Bi	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Cr	V
Количество проб	22	22	22	22	22	22	22	22
Среднее содержание ($C_{геом}$)	0,005	0,004	0,008	0,009	0,001	0,008	0,003	0,002
ε	1,62	1,63	3,53	2,19	2,04	2,28	1,69	1,57
Минимум	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,001
Максимум	0,012	0,010	0,135	0,030	0,003	0,045	0,007	0,004
Геохимический фон участка ($C_{гарм.}$)	0,005	0,004	0,004	0,007	0,001	0,006	0,003	0,002

В качестве объективной меры схожести поведения химических элементов в процессах рассеивания и аккумуляции в тот или иной момент времени при помощи математической статистики вычисляется и используется значение *коэффициента парной корреляции* между микроэлементами. На основе изучения матрицы коэффициентов корреляции между микроэлементами выявляются геохимические ассоциации, анализ которых дает возможность выявить факторы, влияющие на формирование химического состава исследуемой среды.

Например, анализ матрицы коэффициентов корреляции проб снежного покрова Сестрорецкой геосистемы выявил положительную корреляционную связь между концентрациями всех элементов (табл. 17).

Таблица 17

Значение парных коэффициентов корреляции между элементами в снежном покрове опорного участка Сестрорецкая геосистема

	Bi	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Cr	V
Bi	1,00	0,96	0,16	0,77	0,76	0,44	0,93	0,90
Pb		1,00	0,19	0,83	0,80	0,60	0,96	0,96
Zn			1,00	0,07	0,39	0,28	0,24	0,28
Cu				1,00	0,64	0,57	0,83	0,78
Ni					1,00	0,70	0,82	0,84
Fe						1,00	0,60	0,65
Cr							1,00	0,98
V								1,00

Уровень значимости связей между большинством элементов высокий $r=0,57-0,98$. Исключение составляет цинк, не имеющий значимых связей ни с одним из изучаемых компонентов.

Для классифицирования многомерных наблюдений, каждое из которых описывается набором исходных переменных, используется **кластерный анализ**. Основная цель анализа заключается в объединении объектов (точек наблюдений и т.п.) или признаков (содержаний элементов, значений коэффициентов концентрации элементов и т.п.) в кластеры, используя меру расстояния между объектами или признаками. В качестве меры расстояния (сходства) между объектами выступает квадрат евклидова расстояния, а между признаками — коэффициент корреляции Пирсона (r). Разбиение выборки на группы схожих объектов позволяет упростить дальнейшую обработку данных, выявляя связи между химическими элементами. К достоинствам анализа относятся произвольный набор в качестве геохимических признаков любого числа элементов, возможность выбрать уровень объединения объектов в группы, на котором число кластеров, их геохимическая характеристика и распределение в геологическом пространстве поддается достаточно ясной интерпретации (Ярошевский, 1996).

В результате кластерного анализа концентраций элементов в снежном покрове опорного участка Сестрорецкая геосистема установлено, что наиболее тесной связью характеризуются V–Pb, Cr–V, Cu–Fe, образующие отдельные кластеры. Кроме того, V–Pb и Cr–V объединяются в кластер следующего порядка, что позволяет рассматривать их как ассоциацию V–Pb–Cr–V (рис. 5). Наименее выраженной связью с изучаемыми элементами характеризуется Zn.

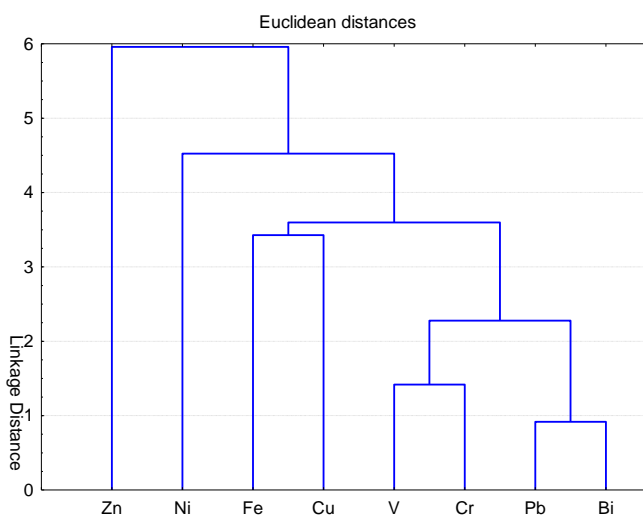


Рис. 5. Результаты кластерного анализа концентраций элементов в снежном покрове опорного участка Сестрорецкая геосистема

Факторный анализ — многовариантный статистический метод. Исходная информация для факторного анализа представляется в матрице данных — таблице, которая имеет n строк (по числу объектов) и m столб-

цов (по числу признаков). Таким образом, каждая строка таблицы соответствует одному из объектов (химических элементов), а каждый столбец — одному из признаков. Первый этап обработки данных методом факторного анализа связан с вычислением матрицы парных коэффициентов корреляции, для установления меры связи между двумя переменными. Основные результаты анализа выражаются в наборах факторных нагрузок и значений факторов. Факторные нагрузки – это значения коэффициентов корреляции каждого из исходных признаков с каждым из выявленных факторов. Чем теснее связь данного признака с рассматриваемым фактором, тем, соответственно, выше значение факторной нагрузки. Положительный знак факторной нагрузки указывает на прямую, а отрицательный знак — на обратную связь данного признака с фактором. Факторными значениями называют количественные значения выделенных факторов для каждого из признаков имеющихся объектов. Данные о факторных нагрузках позволяют сформулировать выводы о наборе исходных признаков, отражающих тот или иной фактор, и об относительном весе отдельного признака в структуре каждого фактора. В свою очередь, данные о значениях факторов определяют ранжировку объектов по каждому фактору.

На примере результатов факторного анализа проб снежного покрова Сестрорецкой геосистемы четко фиксируется наличие двух основных факторов с совокупным весом 86%. Анализ главных компонент показал, что Фактор 1 описывает 73% изменчивости исходных признаков: Вi(-0,92) Рb(-0,97) Cu(-0,85) Ni(-0,89) Fe(-0,71) Cr(-0,98) V(-0,97) (рис. 6). Для второй компоненты (13% полной дисперсии) установлена обратная связь с Zn(-0,90).

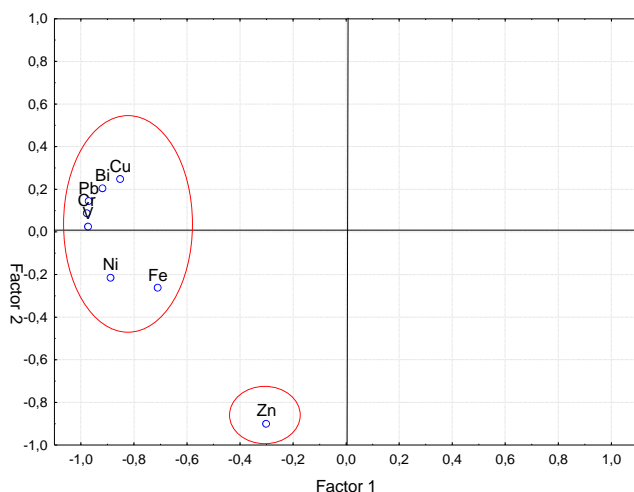


Рис. 6. Соотношение факторных нагрузок первого и второго фактора распределения логарифмов концентраций элементов в снежном покрове опорного участка Сестрорецкая геосистема

Таким образом, статистический анализ проб снежного покрова Сестрорецкой геосистемы выявил тесную положительную связь между концентрациями большинства элементов. Отсутствие выраженной связи между большинством исследованных элементов и цинком предполагает иной его источник поступления в атмосферу Сестрорецкой геосистемы.

4.2. Оценка экологического состояния территории

Помимо методов многомерного анализа для характеристики геохимических ассоциаций и последующей оценки экологического состояния территории используется комплекс следующих показателей, расчеты которых можно произвести в программах *Exel*, *Statistica 6.0* и др.

Коэффициент концентрации химического элемента (K_c), который характеризует уровень концентрирования элемента в среде (в зоне загрязнения) относительно его фоновое содержания.

Коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_c = C_i / C_\phi,$$

где C_i — средняя концентрация i -го химического элемента, установленная для данной геохимической выборки, C_ϕ — фоновое содержание этого элемента.

В качестве примера использования коэффициента концентрации приводится анализ пространственного распределения содержаний токсикантов в снежном покрове Санкт-Петербургского региона (табл. 18, рис. 7) (Грачева и др., 2011).

Таблица 18

Коэффициенты концентрации (K_c) элементов в снежном покрове Санкт-Петербургского региона (в единицах фона)

Зона	Bi	Pb	Zn	Cu	Ni	Fe	Cr	V
Санкт-Петербург	4,0	10,7	2,8	3,8	1,6	2,3	1,1	1,4
30 км	4,0	10,1	2,0	3,2	1,3	1,2	1,0	1,1
60 км	3,9	9,7	1,2	2,8	0,9	1,2	1,0	1,1
90 км	4,3	10,2	1,0	3,3	1,6	0,9	1,0	1,1
>90 км	3,5	9,4	2,0	3,7	1,4	1,1	0,9	1,1

Как видно из таблицы 18, наиболее высокие значения коэффициентов концентрации характерны для Pb, причем незначительное снижение отмечается на расстоянии 60 км от Санкт-Петербурга. Несколько ниже значения K_c у Bi, Cu и Zn — до 4, коэффициенты концентрации Cr и V отмечаются в пределах 1 (т.е. соответствуют фоновым значениям).

По содержанию тяжелых металлов наиболее загрязненным является снежный покров в окрестностях Санкт-Петербурга (рис. 7). По мере удаления от города уровень загрязнения снижается, и вновь возрастает в зоне свыше 90 километров, где находятся районные центры Ленинградской области — Выборг, Волхов, Луга и Калище, которые вносят свой «вклад» в состояние снежного покрова. Эта закономерность особенно отчетливо проявляется в отношении Pb, Zn, Cu и Ni. Обращает на себя внимание значительное превышение фоновых значений концентрации Pb практически на всей исследуемой территории.

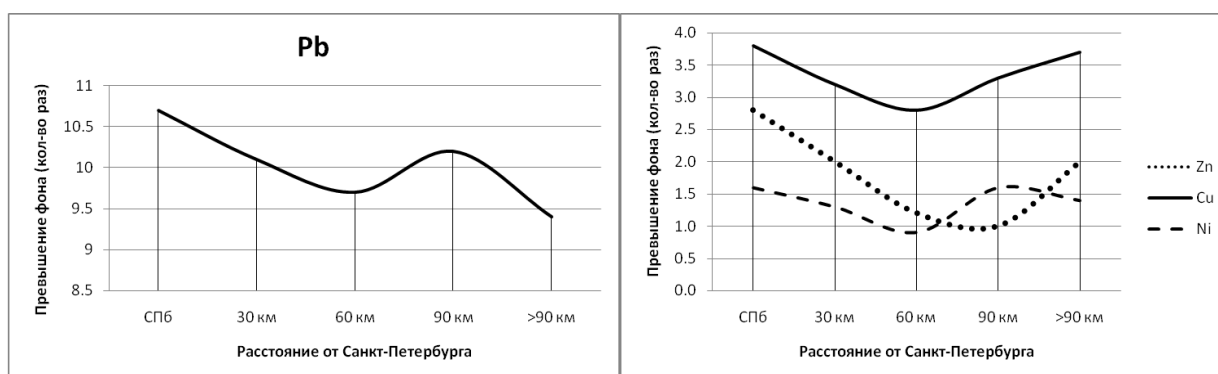


Рис. 7. Изменение коэффициентов концентрации (K_c) относительно местного фона по мере удаления от Санкт-Петербурга

Суммарный показатель загрязнения (Z_c), который представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_c элементов (за вычетом фона), входящих в геохимическую ассоциацию, отражает превышение фонового уровня группой элементов и характеризует уровень техногенного загрязнения среды. Он рассчитывается по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1),$$

где K_c — коэффициент концентрации i -го химического элемента, n — число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Для оценки санитарно-токсикологической обстановки при подсчете Z_c используются химические элементы I и II классов токсикологической опасности (табл. 1).

В качестве оценочных шкал суммарного загрязнения снежного и почвенного покровов тяжелыми металлами можно использовать разработанные под руководством Ю.Е. Саета ориентировочные шкалы систем «почва — человек» и «атмосфера — снежный покров — почва — человек» (табл. 19).

Таблица 19

Уровни загрязнения снежного и почвенного покровов по суммарному загрязнению тяжелыми металлами (Методические..., 1990; Сает и др., 1990)

Уровень загрязнения	Суммарный показатель загрязнения почв (Z_c)	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова (Z_c)	Выпадение пыли ($\text{кг}/\text{км}^2$ сутки (p))	Выпадение металлов (Z_p)	Воздействие на здоровье человека
Низкий	8–16	32–64	100–250	1000	Наиболее низкие показатели заболеваемости детей, частота встречаемости функциональных отклонений минимальна

Уровень загрязнения	Суммарный показатель загрязнения почв (Z_c)	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова (Z_c)	Выпадение пыли (кг/км^2 сутки (p))	Выпадение металлов (Z_p)	Воздействие на здоровье человека
Средний	16–32	64–128	250–450	1000–5000	Повышение уровня общей заболеваемости населения
Высокий	32–128	128–256	450–850	5000–10000	Высокий уровень общей заболеваемости, рост числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Очень высокий	>128	>256	850	10000	Высокий уровень заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофии новорожденных)

В качестве примера приводится графический результат оценки уровня суммарного загрязнения снежного покрова Санкт-Петербургского региона в 2008 г. (рис. 8).

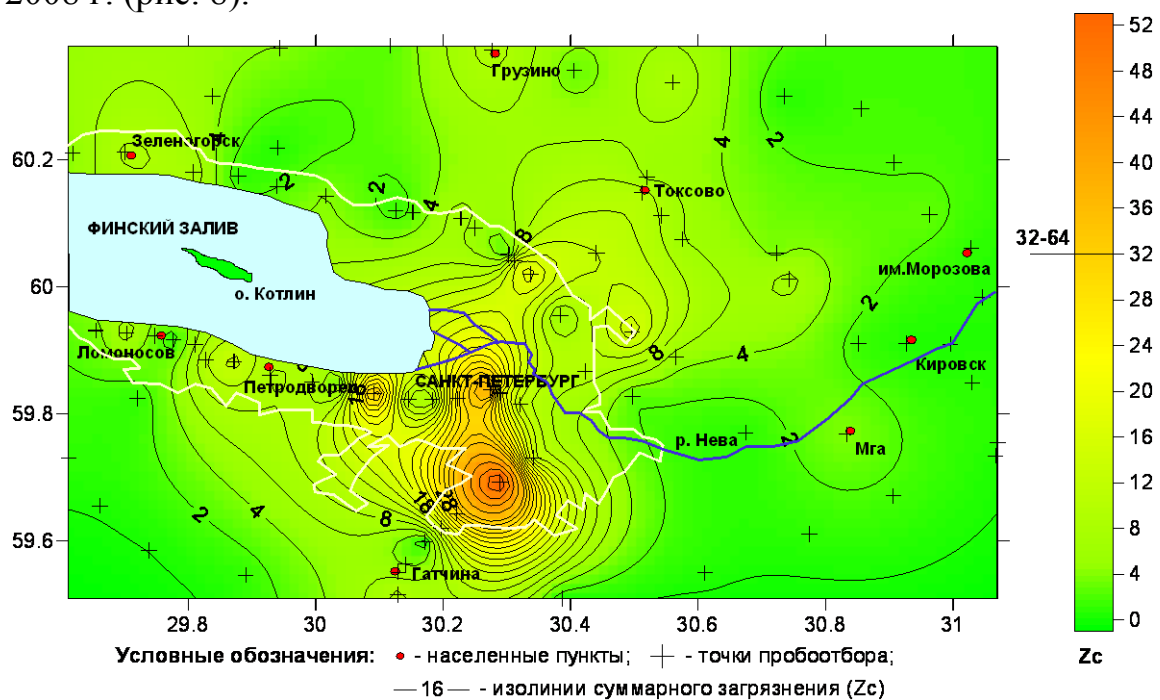


Рис. 8. Картосхема уровня суммарного загрязнения (Z_c) снежного покрова Санкт-Петербургского региона, 2008 г.

Оценивая исследуемый регион по индексу суммарного загрязнения (рис. 8), можно сделать вывод о том, что снежный покров на всей территории имеет низкий уровень загрязнения, даже имеющийся максимум в южной части Санкт-Петербурга по своему значению в 2 раза меньше, чем нижняя граница умеренно-опасного уровня загрязнения по оценочной шкале, приведенной в таблице 18.

Еще одним критерием оценки загрязнения окружающей среды токсичными элементами является сопоставления их содержания в изучаемых объектах с соответствующими *ПДК (предельно-допустимая концентрация)*, *ОДК (ориентировочно-допустимая концентрация)* и другими нормативами. Нормирование содержаний тяжелых металлов в депонирующих средах — чрезвычайно сложная задача в связи с невозможностью полного учета всех факторов природной среды. Существует множество шкал экологического нормирования тяжелых металлов, в некоторых случаях за ПДК принято самое высокое наблюдаемое содержание элементов, в других — содержание, являющееся предельным с точки зрения токсичности для живых организмов.

В настоящее время корректность применения в качестве критерия оценки состояния среды ПДК (в частности в атмогеохимических исследованиях) многими авторами (Ревич и др., 1982; Перельман, Касимов, 1999) подвергается сомнению. Предлагается использовать более жесткие критерии, основанные на экологических принципах: верхним пределом экологических критериев должен приниматься такой условно безопасный фактор, который не превышает так называемую «не действующую дозу», равную половине предельно допустимых концентраций, а в тех случаях, когда ПДК отсутствует, — не более двух региональных геохимических фонов (Блинова и др., 2000). Такой подход при изучении окружающей среды позволяет на ранних стадиях исследования определять масштабы и направленность процессов загрязнения, определять воздействие нескольких элементов в тех случаях, когда концентрации каждого из них не превышают ПДК, но в сочетании могут вызвать отрицательные последствия.

Официально утвержденные и действующие нормативы (табл. 20) приведены в следующих документах:

1. Гигиенические нормативы «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения». ГН 2.1.5.1315–03. — М., 2003.
2. Гигиенические нормативы «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве». ГН 2.1.7.2042–06. — М., 2006.
3. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11–102–97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства».

Таблица 20

Санитарно-гигиенические критерии оценки загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком почвы и снежного покрова

Элемент	Класс опасности	ПДК, мг/кг почвы с учетом фона (кларка)		ОДК, мг/кг почвы с учетом фона (кларка)			ПДК, мг/л талой воды
		Валовое содержание	Подвижные формы	Песчаные, супесчаные	Глинистые, суглинистые, рН<5,5	Глинистые, суглинистые, рН>5,5	
Свинец	1	30,0	-	32,0	65,0	130,0	0,1
Цинк	1	100,0	23,0	55,0	110,0	220,0	1,0
Медь	2	55,0	3,0	33,0	66,0	132,0	1,0
Никель	2	85,0	4,0	20,0	40,0	80,0	0,1
Кобальт	2	-	5,0	-	-	-	-
Железо		-	-	-	-	-	0,5
Висмут	1	-	-	-	-	-	0,5
Марганец	3	1500,0	-	-	-	-	-
Хром	2	-	6,0	-	-	-	0,5
Ванадий	3	150,0	-	-	-	-	0,1
Мышьяк	1	2,0	-	2,0	5,0	10,0	-

* – валовое содержание; ** – водорастворимые формы.

4.3. Оформление отчета

Каждая бригада составляет отчет по геоэкологическому практикуму.

Образец оформления титульного листа отчета приведен в Приложении.

Отчет должен включать следующие структурные части:

Введение, в котором должна быть обоснована актуальность проводимых исследований, содержаться цели и задачи практикума, обозначен объект, предмет, район и методы исследования.

Глава 1 «Характеристика района исследования», включающая:

- картосхему объекта исследования с указанными точками пробоотбора;
- физико-географическую (географическое положение, геологическое строение и рельеф (перепады высот, рассеченность), климат и метеорологическая ситуация с начала периода снегостава, гидрологическая сеть, типы почв, растительности, ландшафты) характеристику района исследования (географическое положение, геологическое строение и рельеф (перепады высот, рассеченность), климат и метеорологическая ситуация с начала периода снегостава, гидрологическая сеть, типы почв, растительности, ландшафтов);
- геоэкологическую характеристику района исследования (характеристики населения, промышленные и сельскохозяйственные предприятия, транспортная сеть, медико-экологическая обстановка и др.).

Глава 2 «Методы и фактические результаты», включающая:

- описание использованных методов и методик отбора, подготовки, инструментального анализа образцов снежного и почвенного покровов;
- таблицы фактических данных;

- таблицы содержания тяжелых металлов в снежном и почвенном покровах.

Глава 3 «Оценка экологического состояния района исследования», включающая:

- статистическую обработку результатов исследования (среднее, минимальное и максимальное содержания элементов, стандартное отклонение, геохимический фон, индекс суммарного загрязнения снежного и почвенного покровов);
- картосхемы пространственного распределения элементов в снежном и почвенном покровах;
- картосхемы суммарного загрязнения снежного и почвенного покровов;
- описание выявленных закономерностей и зависимостей;
- оценку экологического состояния снежного и почвенного покровов в районе исследования.

Заключение с основными выводами, полученными в ходе практикума.

Список использованной литературы.

Отчет предоставляется в бумажном и электронном виде.

СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ И ПОНЯТИЙ

Антропогенное воздействие на природу (*Human intervention in nature*) — прямое осознанное или косвенное и неосознанное воздействие человека и результатов его деятельности, вызывающее изменение природной среды и естественных ландшафтов.

Биоиндикатор (*Bioindicator*) — группа особей одного вида или сообщества, по наличию или по состоянию которых, а также по их поведению судят о естественных и антропогенных изменениях в среде.

Биоиндикация (*Bioindication*) — оценка качества среды обитания и ее отдельных характеристик по состоянию ее биоты в природных условиях.

Выброс (*Emission; Effluent*) — кратковременное или непрерывное (за час, сутки) поступление в окружающую среду вредных веществ (загрязнителей) военным объектом, промышленным предприятием, группой предприятий или населенным пунктом. Различают выброс от отдельного источника и суммарный выброс на площади населенного пункта, региона, государства или группы государств, планеты в целом.

Геохимическая аномалия (*Geochemical Anomaly*) — участок территории, в пределах которого хотя бы в одном из слагающих его природных тел статистические параметры распределения химических элементов отличаются от геохимического фона.

Геохимический фон (*Geochemical background*) — средняя величина природной вариации содержаний химических элементов.

Географические информационные системы, ГИС (*Geographic Information System, GIS*) — компьютерные системы для сбора, хранения, управления, анализа и представления пространственно определенной информации. ГИС применяются в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, например, с планированием природоохранных действий.

Депонирующая среда (*Deposit environment*) — природная или техногенно измененная среда (почва, снежный покров, комплексы поверхностных и подземных вод), накапливающая поллютанты, выпадающие из атмосферы.

Загрязнение окружающей среды (*Pollution of environment; Contamination*) — привнесение в среду или возникновение в ней новых, нехарактерных для нее, физических, химических или биологических агентов, или превышение естественного среднесуточного уровня концентрации тех же агентов в рассматриваемый период. Различают природные и

антропогенные загрязнения. Уровень загрязнения среды контролируется нормативами ПДК, ПДВ и т.д.

Загрязнение почвы (*Soil pollution*) — накопление на участках Земли промышленных и хозяйственно-бытовых отходов и отходов, приводящее к потере плодородия почвы.

Загрязняющее вещество, загрязнитель (*Pollutant*) — вещество или смесь веществ, количество и/или концентрация которых превышают нормативы, установленные для химических и иных веществ, а также для микроорганизмов; оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Ксенобиотики (*Xenobiotic*) — чужеродные для организмов химические вещества, не входящие в естественный биотический круговорот и прямо или косвенно порожденные хозяйственной деятельностью человека.

Мониторинг (*Monitoring*) — в широком смысле — специально организованное, систематическое наблюдение за состоянием объектов, явлений, процессов с целью их оценки, контроля и прогноза.

Мониторинг атмосферного воздуха (*Atmosphere monitoring*) — система наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, его загрязнением и за происходящими в нем природными явлениями, а также оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха, его загрязнения.

Мониторинг импактный (*Impact monitoring*) — мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий на окружающую среду в особо опасных зонах и местах.

Мониторинг окружающей среды, экологический мониторинг (*Monitoring of environment, Ecological monitoring*) — комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Различают базовый, глобальный, региональный и импактный мониторинги.

Окружающая природная среда (*Natural environment*) — природа, рассматриваемая по отношению к существующим в ней организмам, в том числе людям.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) (*Maximum permissible concentration; Maximum concentration limit; Allowed limits*) — установленный в законодательном порядке норматив содержания вредного вещества в окружающей среде, практически не влияющего на здоровье человека и не вызывающего неблагоприятных экологических последствий.

Предельно допустимый выброс (ПДВ) (*Maximum permissible discharge*) — количество загрязняющего вещества за единицу времени, превышение которого ведет к неблагоприятным последствиям в природной среде и опасно для здоровья человека.

Природная среда (*Natural environment*) — совокупность абиотических и биотических факторов, естественных и измененных в результате деятельности человеческого общества, оказывающих влияние на человека

и другие организмы. Природная среда отличается от других составляющих окружающей среды свойством самоподдержания и саморегуляции без корректирующего вмешательства человека.

Среда обитания (*Habitat; Life environment; Biotic environment*) — все тела и явления, с которыми организм находится в прямых или косвенных взаимоотношениях. Среда обитания прямо или косвенно влияет на состояние, развитие и размножение отдельных организмов и популяций. Различают абиотическую, биотическую и антропогенную среды обитания.

Съёмка снеговая (*Snow surveying*) — отбор проб снега с целью выявления и оценки загрязнения окружающей среды за счёт атмосферного загрязнения.

Техногенез (*Technogenesis*) — совокупность химических и технических процессов, производимых деятельностью человека и приводящих к перераспределению химических масс земной коры.

Токсиканты (от греч. *Toxikon* — яд) — ядовитые, вредные для здоровья вещества.

Тяжелые металлы (*Heavy metals*) — химические элементы с атомной массой свыше 50 а.е.м.: свинец, кадмий, ртуть, цинк, молибден, марганец, никель, олово, титан, кобальт, медь, ванадий и др.

Урбанизированные территории (*Urbanized area*) — территории городов и поселков городского типа в административных границах, в состав которых могут входить сельскохозяйственные угодья, различные леса: гослесфонда, агролеса, муниципальные, а также земли частного сектора с низким уровнем благоустройства.

Экологический норматив (*Ecological norm; Ecological standard*) — величина антропогенной нагрузки, рассчитанная на основании экологических регламентов и получившая правовой статус.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1976.
2. Беус А.А. Геохимия литосферы. — М.: Недра, 1981.
3. Бондарев Л.Г. Микроэлементы — благо и зло / Л. Г. Бондарев. — М.: Знание, 1984.
4. Василенко В.Н., Назаров И.Н., Фридман Ш.Б. Мониторинг загрязнения снежного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.
5. Ветров В.А., Пословин А.Л., Бобров В.А. Нейтронно-активационный анализ снежных осадков для мониторинга потока микроэлементов из атмосферы в озеро Байкал // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды: сб. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — С. 211–218.
6. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. — 1962. — №7. — С. 565-571.
7. Вредные химические вещества. Неорганические соединения I–IV групп: Справ. изд. / Под ред. В.А. Филова и др. — Л.: Химия, 1988.
8. Вредные химические вещества. Неорганические соединения V–VIII групп: Справ. изд./ Под ред. В.А. Филова и др. — Л.: Химия, 1989.
9. Глазовский Н.Ф., Злобина А.И., Учватов В.П. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна // Региональный экологический мониторинг. — М.: Наука, 1983. — С. 67–86.
10. ГОСТ 17.1.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
11. ГОСТ 17.4.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
12. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
13. ГОСТ 30772–2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.
14. Гильдин С.М. Комплексное исследование динамики компонентов ландшафта береговой зоны северо-восточной части Финского залива в голоценовое время // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. Аспирантские тетради: №5 (23): Научный журнал. — СПб., 2006. — С. 90–95.

15. Грачева И.В., Зарина Л.М., Нестеров Е.М. Геоэкология снегового покрова урбанизированных территорий // Вестник МАНЭБ. Научно-технический журнал. — Т.15. — № 5. — 2011. — С. 29–42.
16. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: Учебник. — М.: Изд-во МГУ, 1995.
17. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. — М.: Мысль, 1983.
18. Зарина Л.М. Геоэкологические особенности распределения тяжелых металлов в снежном покрове Санкт-Петербургского региона // Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. — СПб., 2009. — 20 с.
19. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. — М.: Гидрометеиздат, 1984.
20. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных меторождений / С.В.Григорян, А.П. Соловов, М.Ф. Кузин. — М.: Недра, 1983.
21. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. — М., 1982.
22. Ковда В.А., Керженцев А.С. Изучение миграции и трансформации загрязняющих веществ // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — С. 252–256.
23. Лебедев С.В. Цифровая модель карты эколого-геологического содержания в ГИС ArcGIS. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2008.
24. Лукаревская Т.В. Растения в условиях города // Биология. — № 8. — 2007.
25. М049–В/03. Методика выполнения измерений массовой концентрации ванадия, висмута, железа, кобальта, марганца, меди, никеля, свинца, хрома, цинка в питьевых, природных и сточных водах рентгенфлуоресцентным методом после концентрирования на целлюлозных ДЭТАТА-фильтрах. — СПб.: ООО «НПО “Спектрон”», 1999.
26. Матвеева Н.А., Леонов А.В., Грачева М.П. и др. Гигиена и экология человека / Под ред. Н.А. Матвеевой. — М.: Издательский центр «Академия», 2005.
27. Махонько Э.П., Первунина Р.И., Вертинская Г.К. и др. О загрязнении почв промышленных районов тяжелыми металлами // Труды ИЭМ. — М.: Гидрометеиздат, 1976. — Вып. 4(56). — С. 109–123.
28. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ревич Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С. (Утв. 15 мая 1990 г. № 5174–90). — М.: ИМГРЭ, 1990.
29. Миклишанский А.З., Яковлев Ю.В., Савельев Б.В. О формах нахождения химических элементов в атмосфере: распределение элементов между парами атмосферной влаги и аэрозолем в приземных слоях атмосферы // Геохимия. — 1978. — № 1. — С. 3–10.

30. Негрбов О.П., Астанин И.К., Стародубцев В.С., Астанина Н.Н. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга // Вестник ВГУ. Сер. Химия, биология, фармация. — 2005. — № 2. — С.149–153.
31. Нестеров Е.М., Зарина Л.М., Пискунова М.А. Мониторинг поведения тяжелых металлов в снежном и почвенном покровах центральной части Санкт-Петербурга // Вестник МГОУ. — № 1. — 2009.
32. Никитин А.Т. Тяжелые металлы и их удаление из стоков, почв // Экология, охрана природы, экологическая безопасность. — М.: Изд-во МИНЭПУ, 2000.
33. Николаевский В.С. Некоторые вопросы методологии и методики фонового мониторинга // Опыт и методы экологического мониторинга. — Пущино: Изд-во АН СССР, 1978. — С. 53–59.
34. Новиков Г.В., Дудырев А.Я. Санитарная охрана окружающей среды современного города. — М., 1978.
35. Орлов Д.С. Химия почв. — М.: Изд-во МГУ, 1992.
36. Орлов Д.С., Безуглова О.С. Биогеохимия. — Ростов на/Д.: Феникс, 2000.
37. Остромогильский А.Х., Анохин Ю.А., Ветров В.А. и др. Микроэлементы в атмосфере фоновых районов суши и океана // Обзорная информация. Сер. «Контроль загрязнения природной среды». — Обнинск, 1981. — Вып. 2.
38. Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф. Экологический мониторинг: Учебное пособие. — СПб.: СПбГГИ (ТУ), 2002.
39. Петров А.М. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове территории РГПУ им. А.И. Герцена // Школа экологической геологии и рационального недропользования: Мат. конф. — СПб., 2004. — С. 268–270.
40. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. — М.: Финансы и статистика, 2001.
41. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология здоровья и природопользование в России. — М., 1995.
42. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология здоровья и природопользование в России. — М., 1995.
43. Ревич Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С. Использование метода геохимического картирования в гигиенических исследованиях // Гигиена и санитария. — 1981. — № 7. — С. 48–50.
44. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды. Словарь-справочник. — М.: Просвещение, 1992.
45. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. — М.: Мысль, 1990.
46. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89 (действует с 01.07.1991). — М.: Госкомгидромет, 1991.

47. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89 (действует с 01.07.1991). — М.: Госкомгидромет, 1991.
48. Сает Ю. Е. и др. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990.
49. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990.
50. СанПиН 2.1.7.1287–03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. — М., 2003.
51. Сборник санитарно-гигиенических нормативов и методов контроля вредных веществ в объектах окружающей среды. — М., 1991.
52. Скляр Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В. и др. Интерпретация геохимических данных. — М., 2001.
53. Справочник по элементарной химии / А.Т. Пилипенко и др. / Под ред. А.Т. Пилипенко. — Киев: Наукова думка, 1977.
54. Статистика: Методические указания. — Смоленск: СИБП, 2004.
55. Трофимов В.Т. Зилинг Д.Г. Экологическая геология: Учебник. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002.
56. Трофимов В.Т. и др. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. — М.: Ноосфера, 2006.
57. Уотсон Дж. Геология и человек. — М.: Недра, 1986.
58. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7–ФЗ.
59. Феленберг Г. Загрязнение природной среды: Введение в экологическую химию / Пер. с нем. — М.: Мир, 1997.
60. Шахвердов В.А., Кулаков С.В. Некоторые особенности регионального распределения тяжелых металлов в донных отложениях оз. Пясино, р. Пясины и Пясинского залива // Сборник материалов конференции Акватерра. — СПб.: ВСЕГЕИ., 2002. — С. 171–172.
61. Ярошевский А.А. Применение математики в геохимии: некоторые типы задач и методы решения // СОЖ. Науки о Земле. — № 7. — 1996. — С. 67–73.
62. Gildin S., Zarina L., Nesterov E. Distribution of heavy metals in snow cover in Sestroretsk geosystem // International Journal of Sustainable Water and Environmental System. — Vol. 2, No 2. — 2010. — С.111–115.
63. Zarina L., Lebedev S., Nesterov E. Ecological Geochemical Investigations of the Contents of Heavy Metals in the Snow Cover in the Saint-Petersburg Region with Application of GIS Technologies // International Journal of Chemical Engineering and Applications (IJCEA). — Vol. 2. Number 2. — April 2011. — Pp. 117–120.
64. <http://sci.aha.ru/ATL/ra00.htm>
65. http://gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ecology/maps/karta_vozduh.html
66. <http://www.meteorf.ru/rgm2.aspx?RgmFolderID=79cfab7f-ca21-4d1b-b2f2-00e2200db8f2>
67. <http://www.murman.ru/ecology/krep/snow>

**ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОТЧЕТА ПО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМУ
ПРАКТИКУМУ**

Российский государственный педагогический
университет им. А.И. Герцена
Факультет географии
Кафедра геологии и геоэкологии

**ОТЧЕТ
ПО ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ПРАКТИКУМУ**

Научный руководитель:
Ученая степень, звание, Ф.И.О.
Подпись

Выполнили:
Студенты _____ курса, _____ п/гр:
Ф.И.О., раздел отчета

Санкт-Петербург
2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Геоэкологические проблемы урбанизированных территорий.....	6
1.1. Процесс урбанизации и его геоэкологические последствия.....	6
1.2. Загрязнение урбанизированных территорий.....	7
1.3. Тяжелые металлы в окружающей среде городов.....	9
1.4. Воздействие тяжелых металлов на здоровье человека.....	12
Глава 2. Геоэкологический мониторинг урбанизированных территорий...	16
2.1. Система мониторинга окружающей среды.....	16
2.2. Мониторинг снежного покрова.....	19
2.3. Мониторинг почвенного покрова.....	24
Глава 3. Полевые и лабораторные исследования.....	26
3.1. Организация деятельности студентов в ходе геоэкологического практикума.....	26
3.2. Методы отбора проб.....	27
3.3. Методы подготовки проб для рентгенофлуоресцентного анализа.....	31
3.4. Методика определения кислотно-щелочной реакции (рН) водной почвенной вытяжки.....	33
3.5. Метод рентгенофлуоресцентного анализа.....	34
Глава 4. Анализ полученных результатов.....	39
4.1. Статистическая обработка и анализ результатов исследования.....	39
4.2. Оценка экологического состояния территории.....	45
4.3. Оформление отчета.....	49
Словарь основных терминов и понятий.....	51
Список литературы.....	54
Приложение. Титульный лист отчета.....	58

Зарина Лариса Михайловна
Гильдин Сергей Михайлович

Геоэкологический практикум
Учебно-методическое пособие

Обложка, верстка: Зарина Л. М.
Корректор: Климович И. Л.

Подписано в печать 15.11.2011 г. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,75.
Тираж 100 экз. Заказ № 765.

Отпечатано в типографии РГПУ им. А. И. Герцена
Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48.