ЯШИН И.М., РАСКАТОВ В.А.

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В СИСТЕМЕ ОВОС

МОСКВА 2013

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (ФГБОУ ВПО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

ЯШИН И.М., РАСКАТОВ В.А.

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В СИСТЕМЕ ОВОС

Интерактивный курс для подготовки магистров

направление «Экология и природопользование»

профиль «Экология»

Москва 2013

УДК 504.54: 631.42
ББК 40.35:85-118-7
Б33
Авторы: доктор биологических наук, профессор И. М. Яшин, доцент Раскатов В.А.

Издание осуществлено при поддержке программы TEMPUS, грант Европейской Комиссии
№ 530397-TEMPUS-1-2012-1-SK-TEMPUS-SHMES, «STREAM»

Рецензенты:
доктор биологических наук, профессор **Шеин Е.В.** (МГУ имени М.В. Ломоносова);
доктор биологических наук, профессор **Савин И.Ю. (**Почвенный институт имени В.В. Докучаева).
Яшин И.М., Раскатов В.А. Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС. Интерактивный курс. М.: РГАУ-МСХА, 2013. 124 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

В учебном пособии представлены сведения об инженерно-экологических изысканиях в системе ОВОС (оценка воздействия антропогенеза на окружающую среду – компоненты ландшафтов: почвы, атмосферный воздух, биоту и природные воды). Документы ОВОС имеют не рекомендательный характер (как это было раньше, в частности, в почвенно-агрохимических службах Советского Союза), *а обладают законодательным статусом*. В принципе, ОВОС – это система междисциплинарной (геоэкологической) оценки, контроля за использованием природных ресурсов и внедрением природоохранных и ресурсосберегающих технологий на различных производственных объектах. В этой связи в книге кратко охарактеризованы нормативы, правовые и законодательные акты в системе ОВОС. Показано, что *применение инженерно-экологических методов при оценке* антропогенеза в системе ОВОС предусматривает наряду с социально-правовыми актами, осуществление эколого-геохимического картирования изучаемых ландшафтов, выявление экологических рисков и предполагаемых нагрузок на почвы, воды и атмосферу, определение и расчет миграционных параметров ксенобиотиков, уточнение их трансформации и сорбции на барьерах миграции, а также включение в биогенный и абиотический потоки миграции. Неукоснительное *применение природоохранных технологий пользователями природных ресурсов*. Отмечается, что система ОВОС – это правовой процесс, обязательный при разработке любого крупного проекта. Он сопряжен с экспертизой и выбором площадки для строительства, разработкой технико-экономических обоснований, проектов и после проектного контроля за деятельностью предприятия.

Для студентов и магистров экологических специальностей, а также для аспирантов, преподавателей, научных сотрудников, работников природоохранных учреждений.

Книга опубликована при финансовой поддержке Европейского Союза. Перепечатка и любое использование материалов данной книги проводится только с согласия редактора. По некоторым вопросам точка зрения специалистов Европейского Союза и авторов книги может не совпадать. Эти позиции будут согласованы в период консультаций.

На обложке: оврагообразование в Среднем Поволжье России – характерный процесс, влияющий на геоэкологическую ситуацию и деградацию черноземов в регионе; причины данного процесса, равно как и эволюция черноземов изучены неполно. Аткарский район Саратовской области, учхоз «Муммовское» (фото Яшина И.М., 2012).

© Яшин И.М., Раскатов В.А. 2013
ISBN
© Яшин И.М. ред. 2013
© РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ …… 5
Модуль 1. Становление и сущность системы ОВОС ……... 9
1.1. Понятие ОВОС…… 12
1.2. Цель и задачи ОВОС…….. 13
1.3. Объекты ОВОС…….. 14
1.4. Нормативные и правовые акты в системе ОВОС…….. 15
Вопросы для самоконтроля……. 16
Тест-задания к модулю 1……. 16
Модуль 2. Ландшафты и почвы таежной зоны как объекты ОВОС
2.1. Ландшафты зоны тайги……26
2.2. Виды агроландшафтов……..28
2.3. Геохимическая характеристика ландшафтов…… 31
2.4. Функционирование таёжных экосистем…….. 34
2.5. Подзолы и подзолистые почвы таежной зоны……. 36
2.6. Экологическая роль процессов глее- и подзолообразования…45
Вопросы для самоконтроля……..49
Тест-задания к модулю 2……. 55
Модуль 3. Черноземы лесостепной зоны как объекты ОВОС…….. 56
3.1. Экологическое состояние черноземов лесостепи…… 56
3.2. Причины деградация гумусовых веществ и современная эволюция черноземов речных долин……. 61
Вопросы для самоконтроля……64
Тест-задания к модулю 3……. 65
Модуль 4. Характеристика барьеров миграции почв в системе ОВОС ….. 69
4.1. Типы физико-химических барьеров миграции……. 70
4.2. Параметры оценки почвенных барьеров миграции и их значение в системе ОВОС (влияние на природные воды)…….. 74
Вопросы для самоконтроля…… 80
Тест-задания к модулю 4……...80
Модуль 5. **Методы инженерно-экологических изысканий при ОВОС**……. 85
5.1. Экологическое картирование ландшафтов как этап экологической экспертизы объекта…… 86
5.1.1. Эколого-геохимическая оценка загрязнения почв…… 91
5.1.2. Стационарный метод мониторинга экосистем…….. 94
5.1.3. Применение сорбционных лизиметров при ОВОС……. 100
5.1.4. Метод биоиндикации при ОВОС……... 108
5.1.5. Метеорологические станции нового поколения……...108
5.1.6. Методология оценки химического загрязнения экосистем…..112
5.1.7. Дистанционное зондирование экосистем ……....120
5.2. Лабораторные методы в системе ОВОС ……. . 121
5.2.1. Физико-химические методы, используемые при ОВОС…..… 122
5.2.2. Методы хроматографии: колоночная, ионная…….. 126
5.3. Практическая работа (составление фрагмента экокарты)…. 128
Вопросы для самоконтроля……..137
Тест-задания к модулю 5……..138
Задачи к модулям 4 и 5……142
Заключение……..144
Словарь терминов (глоссарий)…….....144
Решения задач и ответы к ним……...147

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие «Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС» подготовлено на кафедре экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева профессором Яшиным И.М. и доцентом Раскатовым В.А. по проекту TEMPUS для экологического обоснования (ЭО) хозяйственной деятельности предприятия. Одним из видов подобного обоснования является оценка воздействия производства на компоненты ландшафтов (ОВОС) – атмосферу, почвенный покров, природные воды и биоту. ОВОС является *процессом с юридической базой,* При ОВОС учитывается *потенциально вредное воздействие производства,* влекущее, в свою очередь, вредные и устойчивые последствия для биоты, популяции людей, почвенного покрова, продукции растениеводства, атмосферы и природных вод. Такое воздействие продуктов деятельности производств обусловливает возникновение негативных антропогенных нагрузок, *превышающих их безопасный уровень* и нарушающих устойчивое функционирование компонентов ландшафтов.

В этой связи одной из задач авторов учебного пособия была не только *краткая характеристика ОВОС*, но и поиск экологически обоснованных параметров диагностики антропогенных нагрузок на почвы, биоту, природные воды и воздух. Традиционно оценка антропогенных нагрузок *проводится неполно - с учетом санитарно-гигиенических нормативов (ПДК)* и требует дальнейшего эколого-геохимического обоснования.

Газообразные продукты (и экотоксиканты) переносятся на большие расстояния от источника, включают широкий спектр химических элементов и веществ (пыль, сажа, зола), которые в атмосфере с парами воды и анионами сильных минеральных кислот могут образовывать новые более токсичные вещества, *не свойственные объекту, переходя в мельчайшие частицы аэрозолей.* Усугубить негативную ситуацию могут масштабные лесные и торфяные пожары (например, в Подмосковье, 1972 и 2010 гг.) – источники *диоксинов* и минеральных оксидов щелочных и щелочноземельных оснований, которыми дышат люди и животные, а также пыльца растений, вызывающая аллергию и астму у многих людей. Дым и гарь достигают быстро таких крупных городов как Москва. *Здесь их негативное влияние на людей заметно усиливается смогом и выхлопами автотранспорта.*

Жидкие экотоксиканты загрязняют в основном почвы, природные воды, планктон, рыбу, накапливаясь в них. *Растворимые формы экотоксикантов почв весьма быстро достигают биоты (растений, микроорганизмов) и человеческой популяции по трофическим цепям*, влияя весьма негативно на их биохимические циклы в клеточных структурах. Нарушаются фотосинтез, дыхание, а также направленность гумусообразования в почвах. Эти взаимосвязанные процессы не рассматриваются пока даже теоретически.

*Твердые продукты антропоге*неза аккумулируются в форме твердых бытовых отходов (ТБО), нередко образуя крупные несанкционированные свалки и ухудшая эстетический облик ландшафтов. Причем, очень часто

такие свалки ТБО размещают в поймах рек, способствуя химическому загрязнению как почвенного покрова, так и природных вод. Чтобы дойти до биоты, экотоксиканты ТБО должны пройти сравнительно долгий путь трансформации из твердой фазы в жидкое или газообразное агрегатное состояние, накапливаясь *на сорбционных барьерах миграции* (в частности, в почвах, донных осадках рек, озер, водохранилищ и дельтах рек). Такая трансформация токсикантов затрагивает трофические цепи сухопутных и водных экосистем, негативно влияя на биоту и компоненты экосистем – почвы, воды, воздух. Поэтому *экологическому нормированию* токсикантов в учебном пособии отводится заметное внимание. Не менее актуальным является установление *экологических рисков* при реализации производственного проекта и *контроля за после проектным этапом* деятельности предприятия. Этот этап оценки в системе ОВОС часто реализуется неполно и ему в учебном пособии отводится важная роль.

Навыки исследовательской работы приобретаются студентами на лабораторных и практических занятиях. Полученная информация может быть использована затем при подготовке магистерской диссертации. При *выборе методики исследования* нужно убедиться, что она соответствует современному уровню развития науки, а также тем нативным условиям ландшафта, в которых полученные результаты опытов будут внедряться. Например, применение в лабораторных опытах *метода биотестирования* должно проводиться не в чашках Петри: учитываются особенности *функционирования биоты в таежном ландшафте* - наличие, с одной стороны, в подзолистых почвах и почвенных растворах *органических лигандов с кислотными, комплексообразующими и аллелопатическими свойствами,* коллоидов, микроорганизмов, а также устойчивую оводненность лесных подстилок, а с другой – постоянное поступление с аэральными выпадами анионов сильных минеральных кислот – азота, серы, фосфора и галогенов. Учесть нужно *и сорбцию экотоксикантов (тяжелых металлов - ТМ) почвой*, вследствие чего и проявляется постепенное действие ксенобиотиков, заметное «смягчение» их результата воздействия на биоту – растения и микроорганизмы. *На основе знаний о процессах (и механизмах) различных реакций в почвах и ландшафтах нужно уметь составить качественный прогноз (или модель) развития экологической ситуации*. Это особенно актуально в современный период, когда наблюдается глобальное изменение климата на Земле и трансаэральный перенос экотоксикантов.

Анализ литературы показывает, что флуктуации погоды и климата будут наиболее выразительны в *южно- и североамериканских континентах,* поскольку здесь наблюдаются наиболее контрастные варьирования влажности, температуры и давления воздуха в мегасистеме «океан-континент». *Увеличится, в частности, число катастроф, вызываемых торнадо, смерчами и землетрясениями. В России* изменения климата будут проявляться более «мягко» и мозаично, что затруднит прогноз трансформации ландшафтов, почв и аграрных экосистем. Обратить внимание нужно на активизацию деятельности аграрного сектора, например, в

Московской и иных областях. *Нужно запретить законодательно любое строительство в поймах крупных рек*. В половодье здесь все будет разрушено. Пример - недавняя экологическая катастрофа, произошедшая в социальном и жилищном секторах пойменных ландшафтов р. Амур.

В странах Европы усилится холодный период, связанный с охлаждением и изменением траектории теплого течения Гольфстрим; здесь увеличатся экологические риски в сельском хозяйстве. В этой связи актуально рассматривать разные уровни развития ландшафтов и их структурную организацию. Больше внимания нужно уделить экологической безопасности сельского и лесного хозяйств: они экологически тесно взаимосвязаны.

Чтобы иметь более полное представление о биогеохимической системе биота – почвы – природные воды (почвенные растворы, верховодка и грунтовые воды) – химические загрязнители (твердые, жидкие, газообразные), следует понимать своеобразие агроландшафтов, почвенного покрова, биоты и самих загрязнителей. Нужно знать и взаимодействия веществ в данной системе. Данному вопросу посвящены два модуля.

В этой связи будет охарактеризована почвенно-экологическая оценка загрязнения и нормирования загрязнителей с помощью биогеохимических показателей. Известно, что это санитарно-гигиенический расчетный параметр, используемый в настоящее время для оценки качества продуктов питания, широко применяется и для оценки загрязнения почв и ландшафтов. Но как он рассчитывается, неясно. Например, отмечается, что ПДК для свинца в почве 32 мг/кг. *Во-первых*, для почв это будет *содержание свинца* в твердой фазе, а не концентрация. *Во-вторых*, непонятно, какая форма свинца оценивается: водорастворимая, кислоторастворимая, органоминеральная? *В-третьих*, не известно, о *какой почве и каком ландшафте* идет речь: черноземах, подзолах, дерновых луговых, расположенных *в каких ландшафтах* – степном, зоне тайги, предгорьях Кавказа или Урала? В каждом из них будут совершенно различные направленность и скорость процессов трансформации экотоксикантов и продуктов почвообразования. Значит и *предельно допустимые массы (ПДМ)* загрязнителей будут различными в ландшафтах. Далее. Уточним значение ПДМ. Концентрация химического элемента – это начальный этап диагностики загрязнения. Фактически данный параметр ограничен в пространстве и времени. *Лучше использовать не концентрацию химического элемента,* а его массу. Ее можно получить, умножив концентрацию, например ионов Pb^{2+} в воде водохранилища (0,04 мг/л), на объем выпитой воды за год (для взрослого человека 3,0 л/сут. х 365 сут. = 1085 л воды. Теперь 0,04 мг/л х 1085 л = 43,2 мг ионов свинца). Это за 1 год, а, например, за 15 лет – 648 мг. Данную массу экотоксиканта (ионов свинца) дает только вода. *Зная качество воды, воздуха, почв, продуктов питания, можно прогнозировать будущие болезни людей (животных) и нарушения обмена веществ.* Геохимики называют эти болезни **эндемии**. *Иначе говоря, «мы есть то, что едим».* Точно также ПДМ можно

рассчитать и *для сенажа, сочных кормов*, если пытаемся оценить экологическую безопасность продукции животноводства. Концентрацию тяжелых металлов (ТМ) следует умножить на массу грубого корма, съеденного, например, коровой за стойловый период. *Цифра получится совсем другая.* После чего следует поставить специальные модельные опыты с животными, растениями, микроорганизмами, чтобы установить их экстремумы и оптимум ПДМ. Это очень трудоемкая работа; она является важной и перспективной в научном и практическом плане. Выполняться она должна по целевым научным грантам: комплексно и группой специалистов – экологами, почвоведами, географами, геохимиками, геоботаниками, медиками. Иллюзия экологического благополучия рассеется, людям придется быстро заняться природоохранными мероприятиями

Этим вопросам в книге уделяется известное внимание. Фото сделаны одним из авторов цифровым фотоаппаратом марки Nikon COOLPIX P90.

Учебный материал книги представлен в интерактивной форме. *Модули построены по европейскому стандарту.* Теоретическому материалу предшествуют аннотация, основная и дополнительная литература. Обращается внимание на наиболее важные положения модулей путем постановки вопросов для самоконтроля и выделение учебного материала с помощью восклицательных (и иных) знаков и курсива. В конце каждого раздела (модульной единицы) имеются *тест-задания*, выполнение которых позволяет активизировать учебную деятельность студентов и закрепить полученные ими знания. Завершает учебное пособие словарь основных терминов и условные обозначения.

Структура и содержание модульной дисциплины «Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС» согласованы и апробированы с участием авторов на координационных совещаниях по проекту ТЕМПУС, которые проводились в Москве (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – апрель, июнь 2013), в Вене Австрия (университет BOKU, апрель 2013), в Краснодаре (университет КубГАУ, октябрь 2013).

В учебном пособии наряду с отечественными и зарубежными публикациями использованы *авторские результаты научных исследований*. Некоторые разделы данной дисциплины уже преподаются в курсах «Методы экологических исследований», «Экогеохимия ландшафтов», «Геоэкология» и ОВОС на кафедре экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Материалы настоящего модульного курса подготовлены авторским коллективом, а их использование (перепечатка, копирование и др.) без разрешения научного редактора Яшина И.М. запрещается. Некоторые положения, изложенные в книге, могут не совпадать с точкой зрения специалистов университетов ЕС. Дискуссионные положения будут согласованы на семинарах и тренингах в университетах РФ и ЕС в процессе работы над модульной дисциплиной «Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС».

Авторы признательны рецензентам – профессорам **Шеину Е.В.** (МГУ имени М.В. Ломоносова) и **Савину И.Ю**. (Почвенный институт имени В.В. Докучаева) за творческие дискуссии и замечания.

Адрес: 127550 Москва, Тимирязевская ул. 49, кафедра экологии, профессору Яшину И.М. - E-mail: ivan.yashin2012@gmail.com

Эколого-геохимическая информация содержится на сайте кафедры экологии: www.ecology.timacad.ru. На страничках проф. Яшина И.М. и доц. Раскатова В.А. можно найти учебный план дисциплины и иные сведения.

Модуль 1
Становление и сущность системы ОВОС

Вы будете изучать:
- Задачи ОВОС и опыт стран ЕС,
- Комплексность и междисциплинарность ОВОС,
- Функции экологической экспертизы при ОВОС,
- Нормативные и правовые акты в системе ОВОС,
- Природоохранную деятельность при ОВОС.

Цели модуля:
- Охарактеризовать особенности системы ОВОС,
- Объяснить нормативные и правовые акты ОВОС,
- Уточнить своеобразие экологической экспертизы при ОВОС,
- Рассмотреть природоохранную деятельность предприятий при ОВОС.

После изучения модуля вы сможете:
- Знать объекты ОВОС,
- Уметь проводить экологическую экспертизу,
- Уметь выбирать площадки для будущих производств,
- Уметь составлять и реализовывать планы экологического менеджмента (ПЭМ) – Environmental Management Plans,
- Владеть методами оценки экологической ситуации,
- Осуществлять обоснованную природоохранную деятельность.

Основная литература

1. Экологическая экспертиза. Под ред. В.М. Питулько. М.: ACADEMIA. 2004. – 476 с.
2. Экологическая оценка и экологическая экспертиза. Ред. О.М. Черп и др. М.: Соц.-Эколог. союз. 2001. – 312 с.
3. Опекунов А.Ю. Экологическое нормирование. Уч. пособие. СПб. ВНИИОкеанологии. 2001. – 216 с.
4. Букс П.Н., Фомин С.А. Экологическая экспертиза и ОВОС. Уч. пособие. М.: МНЭПУ. Кн. 1 и 2. 1999.
5. Справочное пособие по экологической оценке. Вашингтон. Всемирный банк. В 3-х томах. 1991.

Дополнительная литература

1. Практическое пособие к СП 11-101-95 по разработке раздела "Оценка воздействия на окружающую среду" при обосновании инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. М: ГП "ЦЕНТРИНВЕСТпроект", 1998.
2. Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в РФ, Приказ Госкомэкологии

России от 16.05.00 № 372. Зарегистрирован в Минюсте от 04.07.2000 № 2302.
3. Перечень основных законодательных и нормативно-методических документов, регламентирующих порядок разработки оценки воздействия при обосновании инвестиций в строительство (реконструкцию) объектов различного назначения. М: ГП "ЦЕНТРИНВЕСТпроект", 1998.
4. Н.Д. Сорокин. Справочник нормативно-правовых актов по вопросам охраны окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. СПб, Интеграл, 2005, 320 с.

Аннотация

В модуле 1 рассматривается концепция ОВОС – оценка воздействия антропогенеза на компоненты ландшафтов. Реализация ОВОС на территории России регламентируется наряду с «Конвенцией» (с учетом трансграничного переноса токсикантов), «Положением об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации» и Руководством по проведению оценки подобного воздействия при выборе площадок под строительство, разработке технико-экономических обоснований и проектов строительства (реконструкция, расширение производств, техническое перевооружение).

Конвенцией предусматривается оценка трансграничного переноса веществ-загрязнителей и их воздействие на ландшафты по следующим параметрам:

1. Масштабы воздействия загрязнителей;

2.Районы воздействия, включая экологически важные фоновые территории – реки, болота, озера, национальные парки, заповедники, государственные заказники, а также памятники культуры и археологии. Здесь должен проводиться комплексный фоновый мониторинг;

3.Последствия антропогенеза оцениваются специалистами в области экологии, природопользования, почвоведения, геохимии, археологии и географии. Следует знать источники загрязнения, транзитные и депонирующие компоненты ландшафтов и экосистем. На их основе рассчитывать и применять эколого-геохимические показатели: масштаб миграции, градиент барьера миграции, коэффициент мобилизации.

В соответствии с нормативно-правовыми актами РФ для официального утверждения любого строительного и иного *производственного проекта необходима его экологическая оценка (ЭО)* государственными органами. Процесс ЭО включает ОВОС и государственную экологическую экспертизу (ГЭЭ). Результаты ОВОС являются предметом рассмотрения ГЭЭ для принятия решения о соответствии будущей деятельности производства экологической безопасности и экологическим нормативам. Заключение ГЭЭ имеет *юридическую силу*. Порядок проведения ОВОС установлен Госкомэкологией РФ.

В модуле 1 кратко *рассматриваются стадии и этапы проведения ОВОС, технико-экономическое обоснование (ТЭО), технико-экономические расчеты (ТЭР) проекта.* Важное место отводится *предпроектной стадии*, которая включает базовую информацию о ландшафтах, будущем производстве и возможных экологических рисках. *Заказчиком готовится декларация о намерениях, в которой излагается концепция хозяйственной деятельности. На этом этапе цель ОВОС – показать допустимость данной деятельности.*

На предынвестиционном этапе сравниваются разные варианты проектов с учетом возможных экологических рисков. *Проектная стадия ОВОС* содержит полную информацию о воздействии производства на компоненты ландшафтов с учетом возможных *аварийных ситуаций*. Определяют особенности экологических изысканий на этапе производственной деятельности: источники и объемы будущих выбросов, их воздействие на породы и воды, а также на почво-грунты и биоту.

Отмечается, что в *литературе по проблеме ОВОС* основное внимание *уделяется нормативным и правовым документам.* В меньшей мере рассматриваются методы и результаты *инженерно-экологических изысканий*. Это и понятно, поскольку они относятся к блоку естественнонаучных дисциплин: экологии, почвоведению, эко-геохимии, географии и требуют специальной подготовки – умению работать с картографическими материалами, картировать почвенный покров и ландшафты, выполнять геоэкологическую оценку ситуации, рассчитывать параметры миграции и аккумуляции экотоксикантов на барьерах миграции. В настоящее время подобная оценка экологической ситуации нередко ограничивается *констатацией уровня концентрации токсикантов*. Это нужная и важная информация, *но ее уже недостаточно* - она неполно отражает существо проблемы загрязнения экосистем. Следует учесть источники загрязнителей (тяжелых металлов, нефтепродуктов, радионуклидов, диоксинов, пестицидов, ПАУ, ПХБ, СПАВ и др.), формы и масштабы их миграции, процессы трансформации в почвах и водах, накопление в компонентах ландшафтов, включение в биогенный поток.

Инженерно-экологические изыскания должны быть комплексными и проводится поэтапно по научной программе специалистами естественнонаучного профиля (не экономистами и не менеджерами) как в *фоновых (заповедники, лесопарки), так и в загрязненных природно-антропогенных экосистемах сопряженно*. Эти изыскания должны включать следующие стадии полевых и лабораторных (аналитических) работ:

1. Подготовительный этап:

1.1. сбор, анализ и обобщение фондовых и литературных фактических материалов об объекте изысканий; организация экспедиция; решение финансовых и иных вопросов;

1.2. дешифрирование аэрофотоснимков с целью выявления расчлененности рельефа, наличия карста, плывунов, суффозии и эрозии; грунт – основа зданий;

1.3. рекогносцировочные геоэкологические изыскания в ландшафтах, где будет выбрана площадка для строительства;

2. Полевые инженерно-экологические изыскания:

2.1.Бурение почво-грунтов с целью уточнения глубины залегания грунтовых вод, оценки химического состава почв, почвообразующих и подстилающих пород на карбонатность, засоление и оглеение;

2.2.Проведение эколого-гидрологических исследований;

2.3. Крупномасштабное эколого-почвенное картирование;

2.4. Газо-геохимические и радиологические исследования;

2.5.Вредных физических воздействий – электромагнитного излучения, шумового, теплового и др.

2.6. Изучение растительного покрова, его нарушений и повреждений;

2.7.Социально-экологические и исторические изыскания – этнический состав жителей, их занятость, численность, состояние здоровья, наличие промышленности;

3. Лабораторные исследования должны обеспечить весь комплекс аналитической информации для ОВОС *с учетом сезонной динамики* ландшафтных и почвенных процессов и физико-химического загрязнения.

Проведение подобного рода изысканий *под силу крупным научно-производственным центрам с инновационной лабораторией, картографическим, проектно-изыскательским, полевым геоэкологическим, юридическим и иными отделами.* Не исключено, что НИИ почвоведения и областные агрохимические станции России, возможно, будут перепрофилированы в систему ОВОС в ближайшие годы. Из узко специализированных центров нужно трансформироваться в новые и востребованные жизнью научно-производственные организации. Методические функции могла бы взять на себя РАН.

Отметим, не всегда *выявленные воздействия* производственных комплексов на экосистемы **устраняются затем в полной мере**. Поэтому весьма важными являются

планы экологического менеджмента (ПЭМ) – Environmental Management Plans. По определению Всемирного банка, ПЭМ представляет собой *взаимосвязанную и логичную систему организационных, технических и экомониторинговых мероприятий*. Здесь в единый документ сводятся требования к *природоохранным мероприятиям.* ПЭМ позволяет передать *ответственность от разработчика владельцу производства по ОВОС.*

1.1. Понятие ОВОС

Выбор наиболее обоснованных природоохранных решений при хозяйственной деятельности диктует необходимость изучения и оценки экологических последствий реализации тех или иных производственных проектов. Соответствующая работа осуществляется посредством оценки воздействия антропогенеза (прямо и косвенно через загрязнители) на компоненты ландшафтов – биоту (растительность), почвы, воздух, природные воды и близлежащие аграрные экосистемы. Кратко такая оценка обозначается как ОВОС. Термин «окружающая среда» - разговорный и он не научный. Лучше использовать такие понятия как «ландшафт», «экосистема».

В отечественной литературе понятие «ОВОС» трактуется *как предварительное определение характера и степени опасности всех потенциальных видов* влияния и оценка экологических, экономических и социальных последствий, возникающих при осуществлении проекта хозяйственной деятельности. При этом нужно учесть экологические требования в системе подготовки и принятии решений о будущем производстве.

*Официально принятое понятие «*ОВОС – это процесс, способствующий принятию экологически обоснованного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной деятельности путем выявления возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических рисков, учета общественного мнения, разработки мер по уменьшению и предотвращению антропогенных воздействий на компоненты экосистем».

Сведения об ОВОС достаточно полно были изложены сравнительно давно в работах:

1. Мунн Р.Е. (ред.). Вторжение в природную среду: оценка воздействия (основные положения и методы) / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1983;
2. Максименко Ю.Л., Горкина И.Д. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Пособие для практиков. – М.: РЭФИА. 1996;
3. Ответственность перед будущим / Пер. с нем. и порт.; Под ред. А.Ю. Ретеюма. – М.: Евразия, 1997;
4. Букс И.И., Фомин С.А. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). – М.: Изд-во МНЭПУ, 1999.

Поскольку проекты ОВОС представляют законченные исследования, доступное как специалистам, так и общественности, важное значение имеет структура их содержания.

Различают *два аспекта структуры ОВОС* (Букс И.И., Фомин С.А., 1999). *Горизонтальная структура* предполагает последовательное рассмотрение всех факторов, взаимодействие которых ожидается в результате осуществления предполагаемого проекта. Сюда относятся как виды и источники возможного воздействия, так и факторы природной (атмосфера, гидросфера, литосфера, биота) и социальной среды.

Вертикальная структура позволяет понять закономерности природных процессов, протекающих на территории данного региона, оценить существующий уровень нарушений и изменений - это исходный материал при планировании хозяйственной деятельности. На следующем этапе делаются *прогнозные оценки* – это одна из задач разработки ОВОС.

Следовательно, вертикальная структура каждого «горизонтального» раздела проекта ОВОС включает в себя *три уровня*:

1-й - региональные особенности ландшафта;

2-й - существующее состояние исследуемых экосистем;

3–й - прогноз последствий планируемого воздействия на экосистемы.

В каждом разделе анализируются как прямые воздействия на компоненты ландшафтов, так и опосредованные. Поэтому необходимо использовать выводы каждого раздела, чем и достигается комплексность оценок.

1.2. Цель и задачи ОВОС

Цель проведения проектирования ОВОС состоит в подготовке обоснованных хозяйственно-экологических и иных решений.

Достижение сформулированной цели обеспечивается решением следующих задач:

– выявление и анализ всех возможных воздействий намечаемой производственной деятельности на компоненты ландшафтов, где будет реализоваться хозяйственного проекта;

– прогнозирование и оценка изменений ландшафтов, которые произойдут в результате оказанных на них воздействий после осуществления производственной деятельности;

– возможно полный учет в подготавливаемых решениях вероятных последствий при их реализации.

При проведении ОВОС следует руководствоваться следующими принципами:

1. участие общественности при подготовке и принятии решений о хозяйственном развитии региона, осуществление которых окажет или может оказать негативное воздействие на компоненты ландшафтов – почвы, биоту, природные воды, воздух;

2. открытость экологической информации для всех заинтересованных сторон путем привлечения средств массовой информации;
3. альтернативность и вариантность при подготовке решений о реализации намечаемой хозяйственной деятельности должны рассматриваться *все возможные альтернативы*, чтобы выбрать наиболее приемлемые;
4. интегрированность - будущая хозяйственная деятельность и мероприятия (архитектурно-планировочные, демографические, инженерные, медико-биологические, культурные, природоохранные, социальные, технические, технологические, экономические и другие) должны рассматриваться комплексно и *во взаимосвязи*;

5. разумная детализация изысканий в рамках ОВОС - исследования должны проводиться с той степенью точности, которая соответствует значимости вероятных неблагоприятных последствий при реализации проекта хозяйственной деятельности;

6. последовательность мероприятий в осуществлении этапов, процедур и операций ОВОС.

Указанные принципы базируются на экологических концепциях природопользования, а также охраны ландшафтов и Биосферы.

1.3. Объекты ОВОС

Область применения ОВОС, обязательность соблюдения этапов и полнота процедур ее проведения для многообразных видов хозяйственной деятельности являются, безусловно, *предметом договоренности в обществе*. В зависимости от остроты экологической ситуации и степени озабоченности общества, сложившейся системы принятия необходимых природоохранных решений в различных странах соответствующие вопросы решаются по-разному. Вместе с тем принципиальный подход везде относительно одинаков.

Прежде всего, формируется база документов.

В отечественной практике в качестве базовых материалов для проведения ОВОС служат: концепции, программы (в том числе инвестиционные) и планы отраслевого и территориального социально-экономического развития; схемы комплексного использования и охраны природных ресурсов; градостроительная документация (генеральные планы городов, проекты и схемы планировки и т.д.); документация по созданию новых техники, технологий, материалов и веществ; пред проектные обоснования инвестиций в строительство, технико-экономические обоснования и/или проекты строительства новых, реконструкции, расширения, технического перевооружения действующих хозяйственных и/или иных объектов и комплексов.

Определяются *перечни объектов и видов хозяйственной деятельности*, для которых ОВОС проводится в обязательном порядке или не проводится вообще.

В России разработан конкретный *Перечень видов (объектов) хозяйственной* и иной деятельности, при подготовке обосновывающей документации на строительство которых ОВОС проводится в обязательном порядке.

Ниже приведен перечень экологически опасных объектов и видов хозяйственной деятельности, уточненный ВНИИ природы (в соответствии с Конвенцией об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте, а также Директивой ЕЭС).

1. Объекты ядерно-топливного цикла – установки, предназначенные для производства или обогащения ядерного топлива, регенерации отработанного ядерного топлива или сбора, удаления и переработки радиоактивных отходов, ТВЭЛ, ядерных боеприпасов и реакторов.

2. Топливно-энергетические объекты – атомные, гидравлические и тепловые электростанции и крупные установки для сжигания топлива мощностью 300 Мвт и более.

3. Черная и цветная металлургия – установки для доменного и мартеновского производства, предприятия черной и цветной металлургии, машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия, за исключением производства без литейных и предприятий, на которых отсутствуют цеха химической обработки руд.

4. Нефтехимическая, нефте- и газоперерабатывающая промышленность, за исключением заводов по производству смазочных материалов из сырой нефти и установок по производству сжиженного газа из угля и битуминозных сланцев мощностью до 500 т/сут.

1.4. Нормативные и правовые акты в системе ОВОС

Содержательная сторона процедуры ОВОС определяется в целом введенным в действие с 2002 г. Федеральным законом Российской Федерации «Об охране окружающей среды» (взамен Закона РСФСР 1991 г. «Об охране окружающей природной среды»). В этом документе впервые изложена законодательная норма об оценке воздействия на окружающую среду (глава VI).

Статья 33-я Закона гласит (цит.):

«Оценка воздействия на окружающую среду проводится в отношении планируемой хозяйственной и иной деятельности, которая может оказать прямое или косвенное воздействие на окружающую среду, независимо от организационно-правовых форм собственности субъектов хозяйственной и иной деятельности. Оценка воздействия на окружающую среду проводится при разработке всех альтернативных вариантов пред проектной, в том числе пред инвестиционной, и проектной документации, обосновывающей планируемую хозяйственную и иную деятельность, с участием общественных объединений». Здесь же сказано, что требования к материалам оценки воздействия на окружающую среду устанавливаются федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственное управление в области охраны окружающей среды».

В главе VII Закона (статьи 34-56, т.е. 23 статьи из 84) изложены требования в области охраны ландшафтов при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, которые собственно и надлежит учитывать при ОВОС. *Например, статья 34* содержит общие требования при размещении,

проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, консервации и ликвидации зданий, строений, сооружений и иных объектов. В статье 42 определены требования в области охраны окружающей среды при эксплуатации объектов сельскохозяйственного назначения, а в статье 49 – требования в области охраны окружающей среды при использовании химических веществ в сельском хозяйстве и лесном хозяйстве.

Вопросы для самоконтроля

1.Участники проведения ОВОС и их обязанности.
2. Понятие проблемные ситуации (ПС). Возможность и вероятность возникновения ПС в различных сферах производственной деятельности.
3. Понятие «риск». Объективные и субъективные основы риска. Природные и техногенные риски.
4. Концепция и принципы управления риском. Уровни управления риском.
5. Понятие о степени риска. Подходы и методы анализа риска.
6. Основные элементы оценки риска. Человеческое измерение риском.
7. Законодательная и правовая база проведения ОВОС и экологической экспертизы.
8. Теоретические и методологически основы ОВОС; структура ОВОС.
9. Основные этапы и процедура ОВОС.
10. Различия между ОВОС и экологической экспертизой.
11. Информационная база экологического проектирования.
12. Области применения и требования к содержанию ОВОС.
13. Положение о проведении ОВОС в РФ.
14. Общественные слушания при проведении ОВОС.
15. Нормативно-правовое обеспечение ОВОС.

Тест-задания к модулю 1

1. ***Направление «Оценка воздействия на окружающую среду» возникло в …***
   а) России;
   б) США;
   в) Германии;
   г) Швеции;
   д) Китае.
2. ***Годом возникновения ОВОС в России считается …***
   а) 1965;
   б) 1970;
   в) 1985;
   г) 1995;
   д) 2000.
3. ***Общеевропейский закон об ОВОС оформлен в виде …***
   а) Резолюции конференции в Экспо (Финляндия);
   б) Конвенции о трансграничной ОВОС;
   в) Директивы Европейского сообщества от 3 июля 1985 г.;
   г) Монреальского протокола;
   д) закона «Об экологической экспертизе».

4. Как показывает практика, специальная организационная структура для проведения ОВОС в отдельно взятой стране должна формироваться на …

а) международном уровне;

б) общегосударственном уровне;

в) исключительно региональном уровне;

г) местном уровне;

в) уровне ведомства и министерства.

5. Нормативным документом РФ, в котором определены участники ОВОС, их обязанности, требования к деятельности по ОВОС и т.д. является …

а) закон «Об охране окружающей среды»;

б) закон «Об экологической экспертизе»;

в)«Инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности»;

г) «Положение об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации»;

д) «Акт о национальной политике по охране окружающей среды».

6. Научное направление «Оценка воздействия на окружающую среду» возникло в …

а) 1929-1930 гг.;

б) 1949-1950 гг.;

в) 1969-1970 гг.;

г) 1999-2000 гг.;

д) 1981-1982 гг.

7. Первым нормативным документом в России, в котором от проектировщика требовалось оценить состояние окружающей среды и экосистем в регионе предполагаемого строительства, а также сделать прогноз воздействия на них со стороны проекта, является …

а) Положение об оценке воздействия на окружающую среду в РФ;

б) Строительные нормы и правила (СНиП);

в) Постановление правительства РФ;

г) Закон «Об охране окружающей среды»;

д) Санитарные правила и нормы (СанПиН).

8. К основным принципам процедуры ОВОС относится …

а) проведение ОВОС как предполагаемой, так и уже осуществляемой деятельности;

б) формирование специальных организационных структур для проведения ОВОС;

в) подкрепление ОВОС правовыми нормами и юридическими гарантиями;

г) необходимость участия общественности;

д) все вышеназванное.

9. Практическая схема реализации направления «Оценка воздействия на окружающую среду» в России выглядит следующем образом …

а) экологическая экспертиза – ОВОС – экологический аудит;

б) ОВОС – экологическая экспертиза – экологическая сертификация;

в) ОВОС – экологическая экспертиза – экологический аудит;

г) ОВОС – экологическая сертификация – экологический аудит;

д) экологическая сертификация – экологическая экспертиза – экологический аудит.

10. Перечень видов хозяйственной деятельности и объектов, при проектировании которых ОВОС обязательна, содержится в приложении к …

а) закону «Об охране окружающей среды»;

б) закону «Об экологической экспертизе»;

в) «Инструкции по экологическому обоснованию хозяйственной и иной деятельности»;

г) «Положению об оценке воздействия на окружающую среду в Российской Федерации»;

д) «Акту о национальной политике по охране окружающей среды».

11. Процедура учета экологических требований законодательства РФ на стадии проектирования – это …

а) оценка воздействия на окружающую среду;

б) экологическая экспертиза;

в) экологический аудит;

г) экологическая сертификация;

д) экологический мониторинг.

12. К объектам, которые в соответствие с Директивой Совета Европейского сообщества «Об ОВОС отдельных государственных и частных проектов», требующим обязательного проведения ОВОС, относят проекты …

а) землепользования;

б) водопользования;

в) предприятий по переработке асбеста, асбестосодержащих материалов;

г) свиноводческих и птицеводческих хозяйств;

д) все вышеназванное.

13. К объектам, входящим в перечень экологически опасных производств, при проектировании которых, в соответствии с Приложением к «Положению об ОВОС в РФ», оценка воздействия обязательна, относят проекты ...

а) сельскохозяйственного землепользования;

б) свиноводческих предприятий на 30 тыс. голов и более;

в) химических мелиораций;

г) системы применения удобрений;

д) все вышеназванное.

14. Необходимость рассмотрения каждой природоохранной проблемы как части более общей декларирует принцип …

а) историчности;

б) ограничения;

в) системности;

г) превентивности;

д) комплексности.

15. Принцип презумпции потенциальной экологической опасности любой хозяйственной деятельности предполагает, что …

а) ОВОС должна проводится **до** принятия основных решений о реализации намечаемой деятельности;

б) ОВОС должна проводится **после** принятия основных решений о реализации намечаемой деятельности;

в) любая хозяйственная деятельность опасна, всвязи, с чем инициатор деятельности должен предоставить доказательство обратного;

г) хозяйственная деятельность считается безопасной, до того момента, пока в результате ОВОС ее опасность не доказана;

д) все стороны, интересы которых затрагивает планируемая производственная деятельность, имеют право на непосредственное участие в решения по проекту.

16. Установление соответствия намечаемой хозяйственной и иной деятельности экологическим требованиям законодательства РФ – это …

а) оценка воздействия на окружающую среду;

б) экологическая экспертиза;

в) экологический аудит;

г) экологическая сертификация;

д) природоохранное проектирование.

17. К объектам, которые в соответствие с Директивой Совета Европейского сообщества «Об ОВОС отдельных государственных и частных проектов», требующим обязательного проведения ОВОС, относят проекты:

а) использования невозделанных земель для интенсификации сельского хозяйства;

б) водопользования;

в)лесонасаждения, в тех случаях, когда оно может обусловить серьезные экологические изменения;

г) мусоросжигающих заводов;

д) все вышеназванное

18. К объектам, входящим в перечень экологически опасных производств, при проектировании которых, в соответствии с Приложением к «Положению об ОВОС в РФ», оценка воздействия обязательна, относят проекты ...

а) предприятий по откорму молодняка КРС на 2 тыс. голов и более;

б) свиноводческих предприятий на 30 тыс. голов и более;

в) звероводческих комплексов;

г) птицефабрик на 400 тыс. кур несушек и более;

д) все вышеназванное.

19. Необходимость организации природоохранной деятельности с учетом знаний о естественной истории природных объектов декларирует принцип …

а) историчности;

б) ограничения;

в) системности;

г) превентивности;

д) комплексности.

20. Принцип превентивности предполагает, что …

а) ОВОС должна проводится до принятия основных решений о реализации намечаемой деятельности;

б) ОВОС должна проводится после принятия основных решений о реализации намечаемой деятельности;

в) любая хозяйственная деятельность опасна, в связи с чем инициатор деятельности должен предоставить доказательство обратного;

г) хозяйственная деятельность считается безопасной, до того момента, пока в результате ОВОС ее опасность не доказана;

д) все стороны, интересы которых затрагивает планируемая деятельность, имеют право на непосредственное участие в решения по проекту.

21. Участником процедуры ОВОС является …

а) Президент РФ;

б) общественность;

в) органы судебной власти;

г) государственные эксперты;

д) все вышеназванные.

22. Финансирование всех исследований и работ по ОВОС обеспечивается из …

а) федерального бюджета;

б) бюджета субъекта федерации;

в) средств инициатора намечаемой деятельности;

г) средств органов местного самоуправления;

д) средств общественности.

23. Органы исполнительной власти субъекта РФ при проведении ОВОС ...

а) организуют проведение ОВОС в процессе подготовки обосновывающей документации;

б) проводят сбор и анализ информации, необходимой для осуществления ОВОС;

в) осуществляют широкий обзор (общественные слушания) в процессе подготовки обосновывающей документации;

г) выдают (согласовывают) обоснованные экологические условия и требования для проработки предложений по реализации проекта намечаемой деятельности;

д) все вышеназванное.

24. Когда преимущества и издержки реализации проекта носят общенациональный характер, общественные слушания проводятся на …

а) международном уровне;
б) федеральном уровне;
в) региональном уровне;
г) местном уровне;
д) уровне министерства и ведомства.

25. Исследования по ОВОС включают в себя …

а) выявление возможных воздействий намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду;
б) определение характеристик намечаемой деятельности и ее альтернатив;
в) определение мероприятий, смягчающих или предотвращающих негативные воздействия;
г) разработку предложений по программе экологического мониторинга на всех этапах реализации намечаемой деятельности;
д) все вышеназванное.

26. Участником процедуры ОВОС не является …

а) инициатор деятельности;
б) общественность;
в) органы исполнительной власти субъектов РФ;
г) органы судебной власти;
д) исполнитель работ по ОВОС.

27. За организацию и проведение общественных слушаний отвечает …

а) общественность;
б) исполнитель работ по ОВОС;
в) органы исполнительной власти субъекта РФ;
г) органы судебной власти;
д) инициатор деятельности.

28. Исполнитель работ по ОВОС ...

а) организуют проведение ОВОС в процессе подготовки обосновывающей документации;
б) проводит сбор и анализ информации, необходимой для осуществления ОВОС;
в) осуществляют широкий обзор (общественные слушания) в процессе подготовки обосновывающей документации;
г) выдает (согласовывает) обоснованные экологические условия и требования для проработки предложений по реализации проекта намечаемой деятельности;
д) все вышеназванное.

29. Когда преимущества и издержки реализации проекта распространяются на определенный регион в пределах субъекта РФ, общественные слушания проводятся на …

а) международном уровне;
б) федеральном уровне;
в) на уровне субъекта РФ или местном уровне;
г) уровне министерства;
д) уровне ведомства.

30. Обосновывающая хозяйственную деятельность документация должна включать:

а) цели реализации замысла или предполагаемого проекта;
б) разумные альтернативы намечаемой деятельности;
в) сведения о состоянии окружающей среды на территории осуществления проекта;
г) возможные последствия реализации намечаемой деятельности и ее альтернатив;
д) все вышеназванное.

31.К документам, регламентирующим процедуру ОВОС, относится …

а) ГОСТы группы «Охрана окружающей среды»;

б) «Положение об оценке воздействия на окружающую среду в РФ»;

в) НТП 17-99;

г) СанПиН 4630-88;

д) закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

31. Если об объекте оценивания нет достоверных сведений и неизвестны количественные зависимости между прогнозируемыми процессами и явлениями, то используют метод …

а) математического моделирования;

б) экстраполяции;

в) экспертных оценок;

г) аналогий;

д) все вышеназванное.

32. Соотнесение изменения одних показателей состояния ландшафтов с изменением других, тоже природных показателей (например, изменение глубины залегания грунтовых вод соотносят с изменением продуктивности лугов), называют …

а) природная оценка;

б) специальная природная оценка;

в) технологическая оценка;

г) социальная оценка;

д) экологическая оценка.

33. К санитарно-гигиеническим нормативам относится …

а) ПДС;

б) ПДВ;

в) ОДК;

г) ОБУВ;

д) ПДК.

34. В соответствие с НТП 17-99, разовая доза азота, поступающая с жидкими органическими удобрениями не должна превышать …

а) 2-3 кг/га;

б) 20-30 кг/га;

в) 200-300 кг/га;

г) 20-30 т/га;

д) 200-300 т/га.

35. Источником информации о природной характеристике региона при проведении ОВОС могут служить…

а) материалы государственных съемок;

б) ГОСТы группы «Охрана окружающей среды»;

в) НТП 17-99;

г) закон «Об охране окружающей среды»;

д) закон «Об экологической экспертизе».

..

Примеры задач по модулю ОВОС

(для самостоятельной работы студентов)

Задача 1. Тема: ***ОВОС при применении осадков сточных вод (ОСВ) в качестве удобрения и расчет безопасной дозы внесения.***

На основе фактических данных химического анализа осадков сточных вод, характеристики почвы и санитарно-гигиенической оценке ОСВ, разработать безопасную технологию утилизации ОСВ в сельскохозяйственном производстве.

Вариант 1

1. Характеристика ОСВ

а) Химические свойства ОСВ

Наименование показателя	Значение
Массовая доля влаги, %	68
Массовая доля органических веществ, % на сухое вещество	24
Реакция среды ($pH_{сол}$)	6,5
Массовая доля общего азота (N), % на сухое вещество	0,72
Массовая доля минерального азота (N-NO3+N-NH4),% на сухое вещество	0,35
Массовая доля общего фосфора (P_2O_5), % на сухое вещество	1,92

б) Валовое содержание ТМ в ОСВ

Наименование ТМ	Содержание ТМ, мг/кг сухого вещества
Свинец (Pb)	380
Кадмий (Cd)	9
Никель (Ni)	265
Хром ($Cr_{общ}$)	890
Цинк (Zn)	2570
Медь (Cu)	911
Ртуть (Hg)	6,0
Мышьяк (As)	11

Санитарно-бактериологические и санитарно-эпидемиологические показатели ОСВ

Наименование показателя	Значение
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности	180
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г	-
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности, не более	-

2. Свойства почвы, используемой для утилизации ОСВ. Почва светло-серая легкосуглинистая на покровных суглинках. Содержание гумуса – 2,5 %; содержание подвижного фосфора – 115 мг/кг, обменного калия – 120 мг/кг; $pH_{сол}$ – 5,8. Глубина пахотного слоя 24 см, плотность 1,25 г/см^3.

Валовое содержание ТМ в почве (гор. $A_{пах}$)

ТМ	Содержание ТМ в воздушно-сухой почве, мг/кг
Свинец (Pb)	28
Кадмий (Cd)	0,45
Никель (Ni)	15
Хром (Cr)	42
Цинк (Zn)	48
Медь (Cu)	24
Ртуть (Hg)	1,1
Мышьяк (As)	1,9

Вариант 2

1. Характеристика ОСВ

Химические ОСВ

Наименование показателя	Значение
Массовая доля влаги, %	75
Массовая доля органических веществ, % на сухое вещество	22
Реакция среды ($pH_{сол}$)	7,5

Наименование показателя	Значение
Массовая доля влаги, %	75
Массовая доля общего азота (N), % на сухое вещество	0,81
Массовая доля минерального азота (N-NO3+N-NH4),% на сухое вещество	0,28
Массовая доля общего фосфора (P_2O_5), % на сухое вещество	2,05

Валовое содержание ТМ в ОСВ

Наименование металла	Содержание ТМ, мг/кг сухого вещества
Свинец (Pb)	243
Кадмий (Cd)	16
Никель (Ni)	165
Хром ($Cr_{общ}$)	306
Цинк (Zn)	1680
Медь (Cu)	611
Ртуть (Hg)	3,5
Мышьяк (As)	12

Санитарно-бактериологические и санитарно-эпидемиологические показатели ОСВ

Наименование показателя	Значение
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности	90
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г	-
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности, не более	-

2. Характеристика почвы

Почва светло-серая легкосуглинистая на покровных суглинках. Содержание гумуса – 2,4 %; содержание подвижного фосфора – 130 мг/кг, обменного калия – 125 мг/кг; pHсол. – 5,8. Глубина пахотного слоя 23 см, плотность 1,24 г/см^3

Содержание ТМ в почвах

Наименование металла	Концентрация, мг/кг сухого вещества
Свинец (Pb)	25
Кадмий (Cd)	0,38
Никель (Ni)	17
Хром (Cr)	38
Цинк (Zn)	56
Медь (Cu)	35
Ртуть (Hg)	1,0
Мышьяк (As)	1,5

Вариант 3

1. Характеристика ОСВ

Химические свойства ОСВ

Наименование показателя	Значение
Массовая доля влаги, %	62
Массовая доля органических веществ, % на сухое вещество	24
Реакция среды ($pH_{сол}$)	7,5
Массовая доля общего азота (N), % на сухое вещество	0,72
Массовая доля минерального азота (N-NO3+N-NH4),% на сухое вещество	0,36
Массовая доля общего фосфора (P_2O_5), % на сухое вещество	1,80

Валовое содержание ТМ в ОСВ

Наименование металла	Содержание, мг/кг сухого вещества
Свинец (Pb)	367
Кадмий (Cd)	12
Никель (Ni)	205
Хром ($Cr_{общ}$)	462
Цинк (Zn)	1230
Медь (Cu)	690
Ртуть (Hg)	2,8
Мышьяк (As)	3

Санитарно-бактериологические и санитарно-эпидемиологические показатели ОСВ

Наименование показателя	Значение
Бактерии группы кишечной палочки, клеток/г осадка фактической влажности	90
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, клеток/г	-
Яйца геогельминтов и цисты кишечных патогенных простейших, экз./кг осадка фактической влажности, не более	-

2 Характеристика почвы

Почва светло-серая среднесуглинистая на покровных суглинках. Содержание гумуса – 2,5 %; содержание подвижного фосфора – 160 мг/кг, обменного калия – 170 мг/кг; pHсол. – 5,8. Глубина пахотного слоя 25 см, плотность 1,19 г/см^3

Содержание ТМ в почвах

Наименование металла	Концентрация, мг/кг сухого вещества
Свинец (Pb)	30
Кадмий (Cd)	0,35
Никель (Ni)	19
Хром (Cr)	51
Цинк (Zn)	45
Медь (Cu)	24
Ртуть (Hg)	1,0
Мышьяк (As)	1,2

Модуль 2
Ландшафты и почвы таежной зоны как объекты ОВОС

Вы будете изучать:
- Ландшафты и почвы таежной зоны,
- Эколого-геохимическую оценку ландшафтов,
- Процессы глее- и подзолообразования как движущие силы миграции веществ в экосистемах.

Цели модуля:
- Дать представление о ландшафтах и почвах зоны тайги.
- Рассмотреть особенности эколого-геохимической оценки ландшафтов.
- Обсудить процессы глее- и подзолообразования как движущие силы миграции веществ в экосистемах.

После изучения модуля вы сможете:
- Диагностировать различные типы ландшафтов и их устойчивость к загрязнению токсикантами.
- Знать особенности процессов глее- и подзолообразования, играющих важную роль в мобилизации и трансформации токсикантов.
- Понимать методы оценки процессов почвообразования.
- Применять результаты ландшафтно-экологических изысканий при сравнительной диагностике разных типов почв.

Основная литература

1. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. - М.: МСХА. 2000. - 560 с.
2. Яшин И.М., Раскатов В.А., Шишов Л.Л. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. - М.: МСХА. 2003. - 316 с.
3. Алексеенко В.А Экологическая геохимия. - М.: Логос. 2000. - 627 с.
4. Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Основы ландшафтоведения: эколого-геохимические аспекты. - М.: МСХА. 2004. - 212 с.

Аннотация

В модуле 2 рассматриваются особенности почв и ландшафтов таежной и лесостепной зон России. В связи с тем, что деятельность предприятий осуществляется в ландшафтах, а почвенный покров принимает и трансформирует основную часть продуктов антропогенеза, данным компонентам Биосферы уделено большое внимание. Обсуждаются особенности географических ландшафтов – зоны, фации и урочища, а также генезис геохимических ландшафтов. Особое внимание обращено на генезис, классификацию и своеобразие почв тайги и лесостепи. Охарактеризованы виды аграрных ландшафтов, в которые используются в аграрном секторе экономики. Показана геохимическая взаимосвязь элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ) в пространстве.

2.1. Ландшафты зоны тайги

(Общие положения)

Рис. 1 Аграрный (полевой), лесной, садово-огородный и пойменный ландшафты в пределах холмисто-увалистой мореной равнины.

Ландшафты классифицируются на классы, типы, подтипы, группы и виды. *Различают классы горных и равнинных ландшафтов*. В соответствии с ними следует выделять и почвы гор (отметки местности от 500 до 3170 м над у.м.), а также мореных равнин с абсолютными отметками до 350 м над у.м. (рис. 1).

Н. А. Гвоздецкий (1979) среди равнинных выделяет *17 типов ландшафтов*: арктический пустынный, тундровый, лесотундровый, *лесной умеренного пояса*, лесной субтропический, лесостепной умеренного пояса, степной, полупустынный, пустынный (горный и равнинный) и т. д.

Географическая зональность обусловлена формой Земли и ее положением в Космосе относительно Солнца. На распределение тепла и радиации по территории материков влияют особенности рельефа и абсолютная высота над уровнем моря, такие крупные морские течения как, например, Гольфстрим, Эль-Ниньо, соотношение площадей суши и океана,

удаленность территорий государств от океана. Географическую зональность почв впервые выявил и охарактеризовал В.В. Докучаев.

Наиболее характерным внешним признаком ландшафтов является тип растительности, обусловливаемый климатом региона и почвообразующими породами. При этом геоботанические и экологические показатели широко используются для последующей дифференциации типов ландшафтов на подтипы, подтипов на группы и далее на виды. Самые низшие типологические таксоны ландшафтов — микроландшафты (урочища) и слагающие их элементарные ландшафты (фации). *На практике (при полевых изысканиях) чаще всего изучают именно эти таксоны.* Их развитие тесно связано с особенностями микро- и нано- рельефа, почвообразующих пород и растительности. Вполне очевидно, что все перечисленные понятия отражают одну общую идею — взаимосвязь и взаимозависимость компонентов ландшафтов. *Виды ландшафтов тесно коррелируют с типами почв: их генезисом, бонитетом и стоимостью.*

Нами будут рассматриваться таежные и лесостепные ландшафты как объекты ОВОС.

В докладах XI-го съезда Русского географического общества (Архангельск, 2000 г.), были представлены, в частности, факты о глобальном изменении климата на Земле. Изменение климата будет способствовать *интенсивной инверсии ландшафтных зон*, сукцессиям живых организмов (болезням людей) и коренному преобразованию социально-экономической инфраструктуры многих стран. А это может привести к войнам и межэтническим конфликтам.

Наряду с природной составляющей (*активизация землетрясений, извержение вулканов, цунами*) стремительно нарастает антропогенная компонента — *химическое загрязнение почв, воды, биоты*, неразрывно связанное с техногенными катастрофами, авариями, военными конфликтами и войнами. Их уже нельзя назвать локальными, поскольку техногенные и пирогенные (включающие суперэкотоксиканты, в частности, диоксины) продукты с воздушными массами переносятся на сотни и тысячи километров, в иные регионы и государства, вызывая экологические кризисы и бедствия. Поэтому ОВОС в настоящее время очень важный механизм для оценки экологической безопасности ландшафтов и рационального природопользования.

Несомненно, должна быть личная ответственность *лидеров государств*, способствующих разрушению и деградации компонентов Биосферы перед международным сообществом. Уместно подчеркнуть, что токсиканты постепенно накапливаются в организме людей и животных, включаются в гены. Программы обновления и кодирования белков у них нарушаются. Инстинкт, например самосохранения, высших видов организмов деградирует, а активизируется запуск иных биологических программ, направленных, по-видимому, на самоуничтожение. *Не исключено, что это один из возможных механизмов защиты Биосферы Земли от антропогенеза и этносов.*

Рассмотрим аграрные ландшафты таежной зоны в системе ОВОС.

2.2. Виды агроландшафтов в системе ОВОС

Аграрные ландшафты обеспечивают людей продуктами питания, скот – кормами, а промышленные предприятия – сырьем. Поэтому внимание государства к аграрному сектору экономики должно быть приоритетным. Поскольку экотоксиканты (жидкие, твердые и газообразные) загрязняют компоненты агроэкосистем, их состоянию и оценке при ОВОС уделяют большое внимание.

Среди аграрных ландшафтов диагностируют следующие: полевые (пахотные), луговые, пастбищные, сенокосные, огородные, садовые, мелиорированные, пойменные. *Полевые агроландшафты* испытывают влияние культурной растительности очень недолго: 2-3 месяца в году. Поэтому в севооборотах важно иметь поля, которые 2-3 года будут заняты многолетними злаковыми и бобовыми травами. Это позволит сдержать эрозию, особенно активно развитую под пропашными культурами. В этой связи их нельзя возделывать на склонах увалов, гряд и холмов. *Пастбищные и сенокосны*е ландшафты эрозионно устойчивые. Но по понижениям в рельефе при пастьбе скота быстро формируются выбоины, вымочки и кочки. Поэтому нужно регулировать посещаемость животными наиболее уязвимых пастбищ по неокрепшей дернине весной.

Рис.2. Профиль слабо окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, развитой на покровных бескарбонатных суглинках, на плакоре увала (учхоз «Дружба» Ярославской области; фото Яшина И.М., 2009).

Огородные ландшафты обычно формируются вблизи селитебных аналогов. Это небольшие по площади территории. Почвы здесь самые плодородные и

высоко бонитетные. Например, в зоне тайги на огородах со временем формировались *культурные дерновые почвы* без признаков оподзоливания и кислотности. Похожими на огородные почвы в России были *монастырские* аналоги, располагавшиеся недалеко от церквей и часовен. На плакорах в таежной зоне при систематическом окультуривании и травосеянии удается со временем (за 50-70 лет) создать довольно мощный пахотный горизонт. Но оподзоливание все-таки не затормаживается и опускается вглубь (рис. 2).

Садовые ландшафты и виноградники образуют совершенно особую группу аграрных экосистем, поскольку они близки к древесным породам и кустарникам. Виноградники требуют плодородных и слабо карбонатных почв с хорошим дренажем. Свойства почв оказывают существенное влияние на качество винограда и изготавливаемого вина. Здесь важную роль играет соотношение в ягодах органических кислот и углеводов. Сроки уборки ягод порой оказываются решающими для приготовления хороших вин.

Садовые плантации косточковых и семечковых пород нуждаются в мощных и хорошо дренированных профилях почв без близкого залегания карбонатно-кальциевого барьера миграции, глеевого горизонта и отсутствия солей в породах. Выбор участков проводят опытные почвоведы и экологи.

Луговые ландшафты — это сложные травянистые природно-территориальные комплексы, состоящие из мезофильных трав, произрастающих на дерновых почвах. *По местоположению луга делятся на материковые (водораздельные), пойменные и горные*. Большинство материковых и пойменных лугов сформировано на участках, где ранее были леса. На европейском Севере луга интенсивно зарастают кустарником и древесной растительностью.

Материковые луга подразделяются на суходольные (увлажняемые атмосферными осадками) и низинные, увлажнение почв которых происходит и за счет атмосферных осадков, и за счет грунтовых вод. В ландшафтах низинные луга образуют своеобразные переходные зоны к травяным болотам.

Пойменные луга отличаются сложными экологическими условиями, связанными с переменным режимом увлажнения почв и растительности. Среди растений преобладают виды, устойчивые к поёмности (длительному стоянию паводковых вод) и аллювиальности (отложению различной мощности наилка). Пойменные ландшафты характеризуются интенсивными процессами почвообразования и высокой биологической активностью почвенного профиля. Это наиболее продуктивные (с агрономической точки зрения) экосистемы европейского Севера. Среди почв в поймах рек преобладают аллювиальные дерновые слоистые, аллювиальные дерновые, аллювиальные лугово-дерновые, аллювиальные лугово-болотные и другие (Г. В. Добровольский, 1968; И.М. Яшин, 1993).

В. Р. Вильямс (1928) внес заметный вклад в изучение лугов, которые дифференцировал по морфологии корневых систем на следующие группы:

1. *Длиннокорневищные злаки* имеют длинные ползучие корневища. От них отходят многочисленные надземные побеги, а от мест их прикрепления — мочки корней. При разрастании корневищ каждый побег и мочка корней могут дать начало новому корню. Длиннокорневищные растения: костер безостый, пырей ползучий, мятлик луговой, зубровка душистая. *А из осок* — осоки острая, вздутая и ранняя. Геоботаники особо выделяют болотно-корневищные виды — манник и тростник, которые имеют систему межклеточных участков, заполненных воздухом. Эта генетическая особенность позволяет корням расти при недостатке O_2 на устойчиво переувлажненной почве.

2. *Рыхлокустовые злаки* занимают промежуточное положение между длиннокорневищными и плотнокустовыми злаками. У этих растений побеги развиваются из узлов кущения, расположенных у самой поверхности почвы, но в почве. Побеги растут косо, образуя рыхлый «куст» или рыхлую дерновину. В эту группу входят: овсяница луговая, тимофеевка, ежа сборная, душистый колосок, трясунка, полевица обыкновенная, гребенник. К рыхлокустовым осóкам относятся: бледная, лисья и желтая.

3. *Плотнокустовые злаки* характеризуются плотным расположением узлов кущения, находящихся над поверхностью почвы. Побеги растений образуют «куст» или дернину. Плохая аэрация не влияет на их развитие, поэтому они хорошо развиваются и при избыточном переувлажнении почв. Примером этих растений служат: щучка, полевица собачья, белоус. Из осок — дернистая, сероватая и омская.

Луговое разнотравье также делится на 5 групп:

1-я стержнекорневые. Корень у них один. Сюда относятся: щавель конский, одуванчик, клевер луговой, борщевик, василек луговой, тмин;

2-я корневищные: хвощи полевой и луговой, звездчатка злаковая;

3-я корнеотпрысковые. У них на корнях имеются придаточные почки, из которых развиваются надземные побеги: мышиный горошек, молочай, девясил, бодяк;

4-я дерновые растения — купальница, калужница болотная, чемерица;

5-я луковичные**,** клубнелуковичные и клубнекорневые — лук угловатый и другие.

Вышеуказанные растения выступают индикаторами экологических условий, в частности почв. Так, господство длиннокорневищных злаков свидетельствует о *песчано-супесчаных*, хорошо аэрируемых почвах. Небольшая примесь к злаковому травостою стержнекорневых видов указывает на высокую продуктивность луга. Сильное разрастание корнеотпрысковых бобовых, в частности мышиного горошка, свидетельствует об обеднении почв азотом. «*Замоховение*» лугов служит признаком вырождения такового луга вследствие переувлажнения почв и их трансформации в лугово-болотные и болотные урочища.

Высокопродуктивные луговые экосистемы – основа прочной кормовой базы в животноводческих хозяйствах. Нередко луга отводят под сенокосы и пастбища, в частности, в поймах крупных рек.

Агроландшафты функционируют сопряженно с нативными аналогами – лесными, болотными и иными. Поэтому в системе ОВОС важно иметь сведения о миграции и трансформации химических элементов в геохимических ландшафтах и на почвенных барьерах миграции. К этим вопросам мы и переходим.

2.3. Геохимическая характеристика ландшафтов в системе ОВОС

Геохимическая диагностика ландшафтов при ОВОС должна учитывать специфику *географического пространства-времени, а также миграцию* и превращение химических элементов в почвах, породах и корах выветривания. Оценка проводится с помощью геохимических параметров. Природно-территориальные комплексы (ПТК) состоят из многих ассоциаций элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ), взаимосвязанных между собой. Рассмотрим кратко их особенности.

Элювиальные (**автономные**) **ЭГЛ** занимают выравненные плакоры и водоразделы. Их относительно повышенное положение обусловливают поступление веществ в ландшафт в основном из атмосферы. Это центр геохимического ландшафта. В агроландшафты вещества привносятся с целевыми техногенными продуктами — удобрениями, мелиорантами, пестицидами, орошаемыми водами, семенами.

В зависимости от гидротермического режима почвы таких ЭГЛ испытывают миграцию почвенных растворов на известную глубину, способствуя выщелачиванию из генетических горизонтов мобильных форм веществ, образуя водный поток миграции. Грунтовые воды залегают глубже 3…5 м и не оказывают активного влияния на почвенные процессы. В пределах почвенного профиля весной и осенью может возникать верховодка. В данных ЭГЛ формируются *зональные почвы* подзолистого типа при сочетании их ареалов с интразональными и внутри зональными (дерново-карбонатными и дерново-подзолистыми остаточно-карбонатными), в частности, на участках местности с близким залеганием кальцита и доломита.

На общем фоне элювиальных ЭГЛ по микро- и мезо понижениям плакоров, где скапливаются поверхностные воды, могут быть выделены *элювиально-аккумулятивные ЭГЛ*. На таких участках ландшафтов создаются *аномально высокие концентрации педогенных и экологически вредных химических продуктов*.

2. **Транс-элювиальные ЭГЛ** приурочены к пологим склонам мореных гряд, холмов, увалов, террасам крупных рек и озер (транзитные — к крутым и выпуклым склонам рельефа). Такие ЭГЛ функционируют в условиях заметного *вертикального и горизонтального расчленения* мореного и иного рельефа. В зависимости от условий *стока и фильтрации* атмосферных

осадков (что определяется удаленностью водоразделов от рек, озер), формой, крутизной и протяженностью склонов транс-элювиальные ЭГЛ могут быть разделены на два вида: 1-й — типичен для *верхней трети и середины склонов.* Здесь активно выражена *водная эрозия* (смыв и перенос частиц мелкозема), обусловливающая твердый сток. Эти участки соответствуют транс-элювиальным ЭГЛ, т. е. здесь сочетается элювиальный (внутрипочвенный) вынос мобильных форм веществ с поверхностно-внутрипочвенным (в частности, *в почвах с двучленным сложением профиля*); 2-й — занимает нижнюю часть и «*подошву» склонов*. Эти участки относят к транс-аккумулятивному ЭГЛ. Здесь формируется замедленный тип водообмена за счет образования оглеенных водоупорных горизонтов, а *поверхностный перенос веществ сочетается с их аккумуляцией*. Образуются осадки веществ из твердого стока (намытые почвы). Осадкообразование усиливается на перегибах склонов и их переходах в делювиальный шлейф, где чётко выражено развитие погребенных почв. *Эти особенности нередко не учитываются, и при картировании ошибочно выделяют почвы со «вторым гумусовым горизонтом».* Чтобы избежать подобных ошибок, следует найти эталон для сравнения. Им может быть участок леса на плакоре. Понятно, что в элювиальных ЭГЛ второго гумусового горизонта в профиле почв подзолистого типа нет.

3. ***Аккумулятивные ЭГЛ*** приурочены к поймам и дельтам крупных рек, меж увалистым депрессиям и лощинам, котловинам и долинам в горах. Сюда поступает большая часть веществ в составе жидкого (поверхностного и грунтового) стока, а также твердого — при эрозии. Аккумулятивные ландшафты могут быть подразделены на супераквальные (гидроморфные) и субаквальные (собственно аквальные: водные и подводные).

Супераквальные ЭГЛ занимают низкие приморские равнины, дельты, поймы и эстуарии рек, котловины, где грунтовые воды часто смыкаются с почвенными и залегают на глубине 0,8…1,5 м. Поймы, помимо влияния аллохтонных потоков с водоразделов и террас, подвергаются действию водных масс при разливах реки. Примеры: болотные и ма́ршевые почвы приморских побережий Белого, Баренцового и других морей, островов и рек, впадающих в моря; а также своеобразные низинные (ожелезненные, вивианитовые, известковистые и засоленные) торфяники. *Притеррасная пойма крупных рек* является классическим примером супераквального ЭГЛ с гидроморфными (иловато-болотными) почвами, которые нельзя отводить даже для комплексной мелиорации. Закрытый дренаж в подобных ландшафтных условиях (например, в подзоне средней тайге) *довольно быстро выйдет из строя* вследствие заиливания, заохривания труб и зарастания почв кустарником.

Аквальные (субаквальные) ЭГЛ занимают обычно дно реки, озер, водохранилищ, моря. Они представляют собой конечные пункты (ареалы) разгрузки водных артерий и путей водной миграции веществ. Принесенные в них вещества могут и дальше перемещаться в водных бассейнах, постепенно накапливаясь в геохимических осадках. *Общий миграционный поток веществ в геохимическом ландшафте направлен от водоразделов к склонам*

и далее вниз к местным базисам эрозии, а затем к общему базису эрозии — морю, океану.

Географические ландшафты тайги Европейского Севера как объекты ОВОС

В отличие от геохимического направления, географические ландшафты характеризуют общую оценку пейзажа – облик территории. Иначе географический ландшафт именуется как *природно-территориальный комплекс (ПТК).* В географии есть раздел «Ландшафты». Уже сравнительно давно оформилось научное направление «Ландшафтоведение» и аналогичная учебная дисциплина. Поэтому мы очень кратко в системе ОВОС рассмотрим географические аспекты ландшафтов.

В зоне тайги выделяют ряд подзон: северная, средняя и южная тайга. Эдификаторами в тайге являются древесные хвойные породы. Известно, что таежные леса — сложный тип растительности, в котором ведущая роль принадлежит вечнозелёным хвойным деревьям. Поэтому при диагностике подзолистых почв почвенные разрезы следует закладывать не только в меж кроновых пространствах, но и непосредственно под кронами деревьев, не повреждая их. Это важно при диагностике загрязнителей.

Охарактеризуем кратко экологические особенности подзон тайги.

Южная тайга на ЕТС простирается в пределах 55…50° с.ш. Леса высокобонитетные — I…II класса бонитета. Часто вторичные, травянистые.

Средняя тайга простирается в пределах 59…63 с.ш. и сходна с северо-таежными лесами, но отличается большей сомкнутостью древостоя. Леса высоко- и средне бонитетные — II…III…IV класса бонитета. Наблюдаются масштабные рубки.

Северная тайга и лесотундра (фото 3): ее южная граница начинается у Двинского Берёзника в Архангельской области (63° с.ш.) и простирается на север до 66° с.ш.; невдалеке проходит граница Северного полярного круга (66°30′ с.ш.), например, в 25 км севернее н. п. Мезени. Северные леса подвергаются интенсивным промышленным рубкам и почти заменены вторичными, которые находятся на разных стадиях антропогенной сукцессии. Особенно сильно пострадали от промышленных вырубок массивы лесов, приуроченные к боровым террасам северных рек. Только в 1991 г. было получено 250 млн. м^3 так называемых коммерческих пород: лиственницы, кедра, сосны, ели и пихты бальзамической.

Таксономия и систематика ландшафтов давно разработаны географами. Крупные таксоны ландшафтов делятся на «местности», «урочища», «фации» и «парцеллы». Ландшафтные названия ПТК громоздкие, но точно характеризуют обстановку. *Например, фация сосняка-беломошника на подзоле иллювиально-железистом песчаном, развитом на древнем аллювии, и приуроченная ко второй надпойменной террасе реки Северная Двина Архангельской области. Фации – непосредственный объект изучения загрязнения и трансформации почв, биоты при ОВОС.*

*Антропогенная нагрузка на таежные ландшафты в п*оследние десятилетия существенно повысилась, что привело к их заметному разрушению и масштабной деградации. Поэтому внедрение системы ОВОС весьма актуально. Крупномасштабные рубки и пожары, например в 2010 году нанесли особенно ощутимый урон экосистемам тайги во многих регионах РФ. Колоссальные потери лесных ресурсов наблюдаются в зоне тайги при строительстве гидроэлектростанций и заполнении водохранилищ. Помимо интенсивных заготовок древесины здесь активно проводятся добыча и геологоразведочные работы на нефть, газ, уголь, золото, алмазы; экосистемы страдают от техногенных аэральных выбросов — пыли, дыма, и «кислотных дождей» промышленных предприятий. В результате *ухудшается экологическая обстановка:* снижается биологическая продуктивность лесов и влагозапасы ландшафтов. *Грибы и ягоды накапливают тяжелые металлы* и иные экотоксиканты, ухудшается качество почв, гумуса, природных вод. Экологическая безопасность жизни биоты и людей заметно ухудшились. При этом важно знать, как и с какой скоростью трансформируются загрязнители? Для этого следует учесть информацию о функционировании таежных ландшафтов и экосистем.

2.4. Функционирование таёжных экосистем при ОВОС

Загрязнители – это частички сажи, пыли и золы, содержащие тяжелые металлы (и иные токсиканты), попадают в ландшафты, претерпевая различные превращения. Тяжелые металлы (ТМ) могут находиться также в почвообразующих породах и корах выветривания. Поэтому верхние горизонты почв могут загрязняться ТМ и нативным способом.

Движущими силами трансформации загрязнителей *из инертных форм миграции в химически активные* в почвах таёжных экосистем являются биогеохимический круговорот, кислотный гидролиз почвенных минералов и коллоидов с активным участием ВОВ и водная миграция. Кислотность почв таёжных экосистем обусловлена своеобразием биогенного кислотообразования, которое рассматривается нами как один из возможных механизмов адаптации биоты к суровым условиям тайги (Яшин И.М.,2013). *Роль ионов алюминия и угольной кислоты в кислотообразовании вторична*. К тому же методика определения обменной кислотности требует унификации, поскольку применение реагента KCL некорректно: мобилизация ионов AL^{3+} в почвенный раствор в подзолах тайги происходит под воздействием органических кислот и ФК. В усилении кислотности и миграции ионов металлов важную роль играет *комплексообразование*: участие в нём органических лигандов ВОВ с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами.

В экосистемах тайги *экологические функции почв* тесно связаны с водорастворимыми органическими веществами (ВОВ), содержащими в своём составе разнообразные органические кислоты и их соли –

гетерополярные, комплексные и иные. В экосистемах тайги ВОВ выполняют следующие экологические функции: аллелопатическую, кислотную, миграционную, биохимическую, комплексообразующую, окислительно-восстановительную транслокационную и некоторые другие. С помощью ВОВ таёжная биота эффективно адаптируется к гумидным условиям существования**,** а *биогенное кислотообразование* и миграция веществ служат своеобразными индикаторами функционирования таёжных экосистем. Необходимо почеркнуть, что биодеградация ВОВ в таежной экосистеме характеризует взаимосвязь между таёжной древесно-кустарничковой растительностью, мхами и лишайниками, с одной стороны, и *микроорганизмами – с другой* (рис. 3).

Процесс гумификации растительного опада в новые органические вещества характеризуется формированием *ионно-молекулярных форм ВОВ, экологически выгодных таёжной биоте. Конденсация и полимеризация* молекул ВОВ в сложные структуры сильно заторможены вследствие дефицита ионов Ca^{2+}, азота и избытка ионов водорода. Данные процессы завершаются стадией образования химически активных водорастворимых *фульвокислот* (ФК) с ярко выраженными кислотными, аллелопатическими и комплексообразующими свойствами. Молекулы ФК представляют собой *устойчивые к биодеградации компоненты ВОВ*. В их составе всегда идентифицируются комплексные Fe-органические соединения. ВОВ, таким образом, выступают важным связующим звеном между процессами *фотосинтеза и гумусообразования* в таёжной экосистеме. Становится *более понятной картина* начального этапа таёжного гумусообразования и формирование гумусового профиля подзолов**:** в составе компонентов ВОВ, выщелачиваемых атмосферными осадками из лесных подстилок, уже содержатся «*готовые» молекулы фульвокислот*[1] как *образцы структур* новых мобильных органических веществ (это важно для автокаталитических реакций). Функции высокомолекулярных ГВ в таёжных экосистемах *выполнят биополимеры* растительного опада и лесной подстилки - лигнин, клетчатка, гемицеллюлозы и другие. В хорошо аэрируемых песчаных подзолах Европейского Севера молекулярные структуры ФК при водной миграции закрепляются и накапливаются на гидрогелях гидроксида Fe иллювиально-железистого горизонта, в результате чего образуются подзолы иллювиально-гумусово-железистые

[1] В отличие от ВОВ молекулы **фульвокислот** (ФК) более устойчивы к биодеградации. Они накапливаются при хорошей аэрации, в частности в подзолах, на иллювиально-железистом *барьере миграции*. В горизонте B_{fh} содержится 1,4 – 2,7 % $C_{орг}$ ФК или 1,4 – 2,7 г/100 г почвы. На всю массу слоя гор. B_{fh} (360 кг/м^2) мощностью 20 см масса ФК (в составе ВОВ) будет равна в среднем 7,56 кг/м^2. Это очень большая масса природных фульвосоединений, которые при их латеральной миграции в ландшафтах и обусловливают высокую цветность вод таёжных рек - Онеги, Сев. Двины, Мезени, Печоры, Кулоя.

Рис. 3. Справа - сорбционный лизиметр, извлечённый из дерново-подзола на двучленах. Бурые частички – гранулы катионита КУ-2 в H+ форме, белесые – частицы кварцевого песка, которые плотно опутаны гифами плесневых грибов-кислотообразователей; **слева** – профиль дерново-подзола в мае. Отчётливо видна фронтально-линзовая водная миграция ВОВ в супесчаных слоях A_1, E и B_f; ВОВ способствуют диффузионной сегрегации конкреций Fe, Mn (ЛОД РГАУ-МСХА; фото Яшина И.М., 2006).

на боровых террасах рек Европейского Севера. При этом не исключена сборка молекулярных структур ФК in situ в гор. B_f. *Утверждение некоторых специалистов, что ФК – это артефакт аналитического способа их выделения из почв* – некорректно и противоречит генетическим свойствам подзолов тайги. В известной мере формирование молекул ФК отражает специфику *самого подзолообразования в песчаных подзолах*. Экологическая роль нативных ФК обоснована неполно. Индивидуальные органические вещества в составе ВОВ активно формируются *при оглеении* почв подзолистого типа и, по-видимому, являются «заготовками» для молекул ФК. Можно предположить, что с помощью ВОВ кодируется и передаётся по трофическим цепям генетическая информация. ВОВ участвуют в поддержании устойчивости и самоорганизации молекулярных структур гумуса почв. В этой связи фотосинтез и гумусообразование определяют динамическую устойчивость таёжных экосистем, их неравновесное состояние и развитие через флуктуации. Поскольку процессы трансформации экотоксикантов наиболее радикально протекают в почвах, кратко рассмотрим их особенности.

2.5. Подзолы и подзолистые почвы таежной зоны как объекты ОВОС

(исследование почв и почвенного покрова при выборе участка под строительный объект)

Методика полевой почвенной съемки весьма обстоятельно изложена в ряде учебных пособий и монографий по почвоведению (Кашанский А.Д.,

1989; и др.). В этой связи полевое изучение морфологии почв и почвенного покрова в системе ОВОС будет изложено нами кратко.

Отметим, изучение почв и ландшафтов в полевых условиях является *основным источником информации* об этих природных объектах. Существуют определённые правила при почвенной крупномасштабной съёмке. Они совершенствуются научными школами.

При картографировании почв и оценке состояния ландшафтов, в качестве строительной площадки, изучают морфологические признаки почв (их залегание в катенах, экологических профилях и переходных зонах – экотонах), отбирают почвенные образцы для биологических и физико-химических анализов, изучают водно-физические свойства почв и почвообразующие породы. Картирование проводят на качественной картографической основе. Без карты изучение почв носит формальный характер. Морфогенетические свойства почв исследуют по почвенным траншеям длиной 7-10 м, *основным разрезам, полуямам и прикопкам*.

Глубина основных (ключевых) разрезов в зоне тайги составляет 125-200 см и лимитируется часто близким залеганием грунтовых вод и плотных пород (нередко валунами мореных отложений). Солнце должно освещать фронтальную стенку профиля. Работа в разрезе начинается с подвески на переднюю стенку жесткой мерной ленты. Ее прочно закрепляют гвоздем или булавкой. Стенку тщательно зачищают чистой лопатой, разделяют на две равные части, одну из них «препарируют» ножом. Проверяется вскипание почвы от 10%-й HCl по всем генетическим горизонтам (в сухом и влажном состояниях). Выделяют горизонты, описывают их морфологические признаки, отбирают почвенные образцы из глубины вверх; по возможности, берут пробы грунтовых вод, добавляя антисептик. Диагностируют почвообразующую и подстилающую породы. Дают полевое название почвы. Сведения заносятся карандашом в полевой дневник на *специальный бланк*.

Морфологическое описание генетического горизонта почвы начинается с его индексации заглавными буквами (A_0, A, EL, EL/B, B, BC, C, D), взятия *почвенного мазка для дневника,* уточнения мощности и других признаков. Индексы почв (A, B, C) предложил основоположник научного почвоведения В.В. Докучаев. Унификация индексов почв и таксономии в почвоведении продолжается и в настоящее время (Шишов Л.Л., Добровольский Г.В., 2000, 2004), сообразуясь с опытом и достижениями ведущих почвенных школ Мира (США, Франция, Австралия, Япония). Индексы генетических (или иных) горизонтов отражают степень проявления тех или иных мезо- и макропроцессов и явлений: торфонакопление, гумусово-аккумулятивный, элювиальный, элювиально-глеевый, глеевый, элювиально-иллювиальный, пойменный, эоловый, соленакопление и т.д. В этом случае добавляются мелкие латинские буквы к основным индексам, например B_{fh}. Данный индекс расшифровывается так: горизонт иллювиально-гумусово-железистый.

Охарактеризуем профили почв тайги с помощью *почвенных индексов*[*]:

A_0 – лесная подстилка; $A_0^т$ – оторфованная лесная подстилка (если её мощность более 10 см, то почвы диагностируются как болотно-подзолистые); Т–торфяный горизонт разного генезиса (и зольности) и разной степени трансформации, диагностируемый в торфяных и болотных почвах; $A_д$–дернина (поверхностный горизонт с корнями травянистой растительности);

A_1 – гумусово-аккумулятивный горизонт; $A_{пах}$ (р) – пахотный горизонт в почвах агроландшафтов.

Е – подзолистый в песчаных подзолах (элювиальный **EL** в подзолистых суглинистых почвах).

В – иллювиальный, нередко дифференцирован на B_1, B_2, $B_{(h)}$ – иллювиально-гумусовый и $B_{(f)}$ – иллювиально-железистый, но чаще $B_{(hf)}$ – иллювиально-гумусово-железистый в альфе-гумусовых песчано-супесчаных подзол*ах подзон средней и северной тайги европейского Севера*.

В гидрогенно-аккумулятивных горизонтах (и слоях) – в зависимости от природной зоны и позиции в ландшафте – наблюдается гидрогенная аккумуляция подвижных форм (в том числе и коллоидов) *железа, алюминия, кремния, марганца*, что проявляется в виде оглеенных горизонтов: A_g, B_g, и глеевых слоях – G. Если при характеристике горизонта отмечаются признаки оглеения (примазки, конкреции), то обязательно в полевом дневнике даётся добавление к индексу горизонта *латинской буквы g, например* B_g.

К морфологическим признакам почв, помимо мощности и выраженности границ между горизонтами (*ровная граница* свидетельствует о слабой меж горизонтной взаимосвязи, искусственном или аккумулятивном их генезисе и реликтовости), относятся: гранулометрический состав, цвет, влажность, структура, сложение, плотность, *новообразования* и включения, характер распространения корневых масс растений, мерзлота, наличие ходов роющих животных (что особенно типично для ландшафтов степей и саванн).

Изучение почвообразующих и подстилающих пород в системе ОВОС проводится в естественных обнажениях и искусственных выемках: шурфах, канавах, котловинах и карьерах. Эти работы весьма важные, поскольку могут быть связаны с диагностикой загрязнения почв от свалок, скопления твердых бытовых отходов (ТБО), оценкой «полей фильтрации». Обращается внимание на генезис пород и кор выветривания. Отмечается тип коренных пород – осадочные, магматические, метаморфические.

Почвенно-экологическая и ландшафтная съемки на строительных участках при ОВОС проводятся с помощью следующих методов:

[*] Полная их диагностика представлена в специальных руководствах по почвоведению (Кауричев И.С., 1978) и в учебном пособии (Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А., 2000).

маршрутного, комплексного ландшафтного профилирования и закладки «ключей».

Ключевой метод дает ценную информацию при проведении средне- и мелкомасштабной съемки. Этот прием полевого картирования ландшафтов представляет собой сочетание методов опорного ландшафтного профилирования, маршрутных наблюдений и исследований на точках наблюдений. Рабочие маршруты на ключевых участках, как правило, пересекают, контуры, выделенные на предварительной карте-гипотезе. *Систематизация материалов полевых работ*. В процессе длительных полевых изысканий (несколько месяцев) составляется полевой вариант почвенной или ландшафтной карты в системе ОВОС. Он вычерчивается или на картоснове (фотопланах, топографической основе), или на кальке. Рекомендуется ежедневно (по окончании маршрутных изысканий и возвращения на базу) окончательно закреплять тушью на картоснове границы фаций, номера «ключей», точки разрезов, а в полевом дневнике *дооформлять выявленные особенности.*

Образцы растений, пробы почв и воды подготавливаются к отправке в лабораторию и упаковываются по системному принципу: по профилям, участкам и «ключам». Составляется ведомость назначения на анализы.

В камеральный период завершается работа по составлению чистового варианта карты, легенды к ней и пояснительной записки *на будущий строительный комплекс при ОВОС.* В лабораториях анализируются образцы почв, растений, воды. Особое внимание уделяется лаконичному тексту легенды ландшафтной карты. *Названия контуров на ландшафтно-экологической карте включают* характеристику форм и элементов мезорельефа, типа растительной ассоциации, типа (и подтипа) почвы, название почвообразующей (реже подстилающей) породы, степень антропогенного воздействия и изменения в структуре ландшафта. *Легенда составляется* по генетическому принципу. Подбирается цветовая гамма (лучше по шкале Мансела) *к контурам*, которые оцифровывают согласно их номерам в легенде. Затем приступают к завершающему этапу (чистовой вариант) оформления карты, используя результаты химических анализов. Отметим, со временем цвета в блокноте Мансела выгорают: их лучше хранить в ноутбуке (в электронном виде).

При ОВОС, проводимых на ландшафтной основе, осуществляют инвентаризацию природно-территориальных комплексов (ПТК), их оценку и прогноз изменений при будущих антропогенных нагрузках. *В этой связи важно кратко рассмотреть особенности генезиса почв.*

Почвы подзолистого типа составляют основу лесного и аграрного земельных фондов России при ОВОС. Формируются подзолистые почвы в гумидных ландшафтах Европейского Севера (в подзонах средней и южной тайги) под хвойными и мелколиственно-хвойными лесами с кустарничково-моховым покровом, при промывном типе водного режима, на

бескарбонатной морене и флювиогляциальных отложениях в автономных условиях. Среди подзолистых почв, подзолов и болотно-подзолистых почв встречаются интразональные *дерново-подзолистые остаточно-карбонатные почвы*, вскипающие в гор. B_{ca}. Профили почв подзолистого типа образовались сотни лет тому назад в результате совместного проявления *биогеохимического круговорота веществ в экосистемах тайги, кислотного гидролиза почвенных минералов, лессиважа, элювиально-глеевого процесса при ярком дефиците в лесном опаде ионов кальция и соединений азота.* Важную роль в дифференциации профилей подзолистых почв играет нисходящая (и латеральная) водная миграция продуктов почвообразования в условиях очень кислой реакции. С помощью метода сорбционных лизиметров и радиоактивных индикаторов (Кауричев И.С., Кашанский А.Д., Яшин И.М. Карпухин А.И., Кащенко В.С., 1972, 1975, 1986, 1993, 1996, 2003) авторам удалось установить масштабы и формы миграции некоторых продуктов почвообразования, направленность трансформации растительного опада, образование ФК и выявить их роль в почвенно-геохимических процессах. Наряду с полно профильными подзолистыми почвами в ландшафтах тайги можно встретить трансформированные профили на участках ветровалов и вырубок, укороченные (эродированные) и мозаичные аналоги. *Наиболее трудными для диагностики я*вляются профили почв, расположенные в экотонах (переходных точках между ЭПА), а также почвы, расположенные в нижней 1/3 склонов холмов и увалов, где происходит разгрузка мигрантов. Здесь ярко выражена диффузия и оглеение всего профиля, поэтому диагностика генетических горизонтов затруднена. При ОВОС это нужно учитывать, в частности, при прогнозе миграции токсикантов.

Напомним, что полная система генетических горизонтов, свойственная таёжным (лесным) подзолистым суглинистым почвам, развитым на покровных суглинках, имеет следующий вид: A_0 – A_0A_1 – EL – ELB – B (B_1, B_2) – BC – C. *Индекс почвы на карте и в легенде – $П_3$ с П.*

Рассмотрим индексы горизонтов подзолистых почв по типам ландшафтов, поскольку это актуально при ОВОС.

1. Профиль подзола иллювиально-железистого песчаного на флювиогляциальных отложениях. Индекс почвы *на карте - $П^{ж}$ $_{п}$ В*. Почвы приурочены к *боровым террасам крупных северных рек, озам, камам и друмлинам.*

В лесу: $A_0^{т}$ – E - B_f – B_2 – BC – C; горизонт B_f может быть и псевдо фибровый ввиде ортзандовых плиток из $Fe(OH)_3$ и Fe_2O_3.

На лугу (выгон): $A_д$ – E - B_f – B_2 – BC – C,

На пашне: $A_р$ – E (EB) - B_f – B_2 – BC – C. *Пахотный горизонт* состоит из сложной смеси органогенного субстрата (лесной подстилки) и веществ

Рис. 4 Профиль дерново-подзола супесчаного на двучленах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева ранней весной на плакоре; чётко видна фрагментарная *вуализация* подзолистого и иллювиально-железистого горизонтов компонентами ВОВ и их вынос вглубь почвы по миграционным тяжам (фото Яшина И.М., 2007).

подзолистого горизонта. Профиль *подзола иллювиально-гумусового* имеет похожее строение, что и предыдущая почва, но отличается присутствием в профиле иллювиально-гумусового горизонта B_h. Приурочены эти почвы к окрайкам болот.

2. Профиль подзолистой почвы, развитой *на двучленных отложениях*. Индекс почвы на карте: $П_2^{к\text{-}г}$ п ДЧ. Набор генетических горизонтов:

в лесу: $A_0^{тп} – E - B_f – EL'_g – EL/B – B_2 – BC – C$.

на лугу (выгон): $A_д – A_0A_1 - E - B_f – EL'_g – EL/B – B_2 – BC – C$.

на пашне: $A_p – E (EB_f) - EL'_g – EL/B – B_2 – BC – C$.

Подзолистая почва на двучленах состоит из двух разнокачественных по генезису и гранулометрическому составу микро профилей: верхнего мини подзола, который вложен в *текстурно дифференцированный профиль* тяжёлого суглинка. Эти два наноса соприкасаются через контактно-*глееватый (контактно-осветлённый) горизонт EL'$_g$. Здесь часто возникает избыточное переувлажнение.* Усиливается мобилизация в раствор ВОВ с кислотными свойствами и трансформация гидрогелей гидроксида железа в гор. Bf. На склонах увалов по данному горизонту наблюдается *латеральная водная миграция веществ*.

Подзолистые суглинистые почвы (индекс на карте П)

Подзолистые суглинистые почвы формируются, главным образом, в ландшафтах *средней тайги Европейского Севера*. В подзоне южной тайги они развиваются *под кронами зрелых елей*, причём здесь образуется комплексный почвенный покров (фация состоит из ряда парцелл), поскольку в меж кроновых пространствах залегают дерново-подзолистые почвы.

Для лесных подзолистых почв характерны следующие особенности:

1. значительная мощность профиля (до 150 см),
2. его чёткая дифференциация на генетические горизонты ($A_0 – A_0A_1 – (A_1EL) – EL – EL/B – B – BC – C$),
3. почти полное отсутствие в почвах плакоров признаков оглеения,

4. очень слабая выраженность гор. A_1 (вместо него сразу под лесной подстилкой обычно присутствует небольшой по мощности гор. A_0A_1 – 2 - 4 см),
5. горизонт EL (подзолистый) часто *пропитан компонентами ВОВ* и окрашен в белёсо-серый цвет и его нередко ошибочно выделяют как гумусово-аккумулятивный. Последний характерен для почв южной тайги и имеет комковато-плитчатую структуру. Гор. EL в подзолистых почвах имеет плитчатую, плитчато-листоватую и листоватую структуру. Его мощность может превышать 20 см.

Дерново-подзолистые суглинистые почвы (индекс $П^д$)

Формируются преимущественно *под южно-таёжными смешанными лесами* с травянистым покровом (рис. 5). В автономных ЭГЛ профиль неоглеен. Полная схема генетических горизонтов, свойственная южно-таёжным (лесным) *дерново-подзолистым суглинистым почвам*, развитым на покровных суглинках, следующая: $A_0 – A_0A_1 – A_1 – A_1EL$ - EL – ELB – B – BC – C. Рассмотрим кратко их морфологию *в лесу и на пашне*.

А. Лесные дерново-подзолистые почвы

Рис. 5. Профиль пахотной дерново-среднеподзолистой легкосуглинистой почвы в учхозе «Дружба» Ярославской области на сенокосе (фото Яшина И.М., 2009).

В зависимости от характера почвообразующей породы изменяется гранулометрический состав почвы: на древнем аллювии и флювиогляциальных наносах формируются песчаные подзолы, а на суглинках – подзолистые почвы.

В. Пахотные дерново-подзолистые суглинистые почвы

Пахотные суглинистые дерново-подзолистые почвы, как и их лесные аналоги, по морфологии разделяются на **две группы «А» и «В».**

Полная схема индексов пахотных дерново-подзолистых почв **группы «А»**: $A_{пах}$ – EL – EL/B – B – BC – C.

Полная схема индексов *пахотных* дерново-подзолистых почв **группы «В»**: $A_{пах}$ – (EL - мозаично) – B – BC – C (рис. 6).

Горизонты, указанные в скобках, *не обязательно присутствуют в профиле*. Дерново-подзолистые почвы группы «**В**» *характерны для эродированных* аналогов и приурочены к склонам холмов и увалов. При эрозии пахотный

Рис. 6 Профиль сильно эродированной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы – учхоз «Дружба» Ярославской области (фото Яшина И.М., 2010).

горизонт постепенно уменьшается, при этом припахиваются нижние горизонты EL, ELB. *В результате гор. $A_{пах}$ залегает на горизонте В*.

Дерново-подзолистые окультуренные почвы (агрозёмы), индекс $П^{дк}$

Окультуренные почвы подзолистого типа - это дерново-подзолистые (рис. 7). Их пытаются обозначить формальным термином «агроземы»: при этом

Рис. 7. Профиль окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы после дождей: учхоз «Дружба» Ярославской области (фото Яшина И.М., 2009).

утрачивается эффективная и многолетняя деятельность земледельцев по поддержанию и улучшению плодородия почв. *Оно находит подтверждение в терминах «слабо», «средне» и «сильно» окультуренные почвы*.

Табл. 1. Химические свойства дерново-подзолистых почв опытного поля № 7 учхоза «Михайловское» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (где дроби: числитель – среднее значение, знаменатель – среднеквадратичная ошибка среднего), И.М. Яшин,1993.

Генетич. гор. и глубина отбора образцов, см	pH_{KCl}	$H_г$	Поглощённые основания		V, %	Гумус по Тюрину, %	Доступные формы, мг/100 г	
			Ca^{2+}	Mg^{2+}			$H_2PO_4^-$	K^+
		мг · экв / 100 г						
Разрез 6. Целинная почва **(лес смешанный, вторичный)**								
A_1 1-11	**4,2**	**7,1**	**5,0**	**1,3**	**47,0**	**2,5**	**4,2**	**10,0**
EL 22-32	**4,0**	**5,0**	**2,8**	**1,0**	**43,2**	**1,1**	**3,6**	**6,1**
EL/B_1 49-59	**3,5**	**7,3**	**8,0**	**3,6**	**61,4**	**0,9**	**4,8**	**9,6**
B_1 80-90	**3,7**	**6,5**	**9,7**	**4,8**	**69,0**	**0,9**	**9,7**	**11,0**
BC 100-110	**3,7**	**6,4**	**10,3**	**5.3**	**70,9**	**0,7**	**8,3**	**11,0**
C 130-140	**3,9**	**5,3**	**4,8**	**2,3**	**57,3**	**0,9**	**12,0**	**9,0**
Трансекта длиной 9 м **в 0,5 м** от разреза 4 **(защитная полоса в полевом опыте № 7)**								
$A_п$ (max – 30, min – 11)	**5,5*** / **0,79**	**2,22** / **1,55**	**6,99** / **2,04**	**3,09** / **1,15**	**77,1** / **9,75**	**1,84** / **0,52**	**20,78** / **13,59**	**20,76** / **9,47**
EL (max – 22, min – 0)	**5,1** / **0,69**	**2,91** / **2,21**	**6,33** / **2,45**	**2,36** / **1,40**	**69,96** / **16,73**	**1,47** / **0,74**	**14,54** / **17,89**	15,58 / 9,44
Разрез 5**. Освоенная почва (трёхъярусная вспашка на 38-40 см, посев кукурузы на зелёный корм)**								
$A_п$ 0-19	**5,3**	**2,8**	**7,8**	**3,3**	**80,0**	**1,9**	**21,0**	**24,8**
$A_п$ 22-32	**5,3**	**2,5**	**8,5**	**3,6**	**82,9**	**1,5**	**11,0**	**9,3**
$A_п$ 35-44	**4,5**	**3,7**	**8,9**	**3,9**	**77,6**	**1,5**	**4,6**	**7,3**
B_g, 65-75	**3,6**	**9,4**	**11,0**	**5,3**	**63,4**	**0,9**	**6,0**	**11,0**
BC_g, 90-100	**3,8**	**6,5**	**13,3**	**6,7**	**75,5**	**1,0**	**7,2**	**11,0**
Среднее по разрезам 1, 2, 3 **освоенной почвы (отвальная вспашка на 20-22 см, посев овса)**								
$A_п$ 0-25	**4,7** / **0,43**	**3,4** / **0,8**	**6,40** / **0,72**	**2,63** / **0,25**	**71,9** / **5,45**	**1,4** / **0,26**	**10,86** / **7,51**	15,04 / 8,54
EL/B 27-37	**3,7** / **0,44**	**7,6** / **3,1**	**6,33** / **2,21**	**2,70** / **0,78**	**54,3** / **18,35**	**0,8** / **0,15**	**7,23** / **3,65**	**9,53** / **1,16**
B 80-90	**3,6** / **0,17**	**7,5** / **1,8**	**10,46** / **3,26**	**5,13** / **0,75**	**66,9** / **10,6**	**0,6** / **0,15**	**6,13** / **1,37**	**10,2** / **0,75**
BC 129-139	**3,7** / **0,50**	**7,4** / **0,9**	**13,90** / **8,11**	**6,97** / **4,17**	**71,0** / **10,15**	**0,7** / **0,25**	**5,47** / **0,91**	**8,5** / **3,54**
C 154-164	**4,1** / **0,17**	**5,4** / **1,4**	**13,57** / **1,31**	**6,73** / **0,90**	**79,4** / **3,16**	**0,7** / **0,06**	**5,40** / **1,82**	**7,9** / **0,23**
Разрез 4. **Освоенная почва (минимальная фрезерная обработка на 8-10 см)**								
$A_п$ 0-15	**5,9**	**2,1**	**7,2**	**2,6**	**82,4**	**1,6**	**47,3***	**37,5**
EL 15-21	**4,3**	**2,5**	**4,2**	**1,7**	**73,8**	**0,7**	**10,0**	**14,0**
EL/B_1 35-45	**3,7**	**7,4**	**7,6**	**3,5**	**60,0**	**0,7**	**7,2**	**14,2**
B_1 62-72	**3,4**	**9,4**	**9,1**	**4,4**	**59,0**	**0,7**	**4,2**	**11,6**
BC_g 95-105	**3,5**	**7,3**	**14,0**	**7,7**	**74,8**	**0,5**	**3,8**	**7,0**
C_g 131-141	**4,0**	**4,9**	**12,8**	**6,7**	**79,6**	**0,9**	**5,5**	**9,8**

Окультуренные дерново-подзолистые суглинистые почвы формируются *небольшими массивами* в агроландшафтах *при длительном и интенсивном улучшении гумусового, пищевого и водно-воздушного режимов при комплексной мелиорации*. Важную роль здесь играет травосеяние.

В профиле окультуренных почв *подзолистый горизонт* сильно трансформирован и припахан к $A_{пах}$. Система горизонтов: **$A_{пах}^к$ – B – BC – C**. Мощность гор. $A_{пах}^к$ более 30 см, в нём выражена плотная плужная «подошва».

* Образец почвы с удобренной делянки опыта.

2.6.Экологическая роль процессов глее- и подзолообразования

При проведении работ в системе ОВОС в зоне тайги необходимо учитывать значение, прежде всего, процессов, *глее- и подзолообразования*. Рассмотрим их экологические особенности.

Оглеение – биохимический (микробиологический) восстановительный процесс, реализующийся только в условиях анаэробиозиса почв. Следствием оглеения является восстановление различных химических элементов, мобилизованных из гумуса и минералов, и формирование коллоидов, прежде всего Si, Fe, Mn, резко уменьшающих миграцию из почв воды и растворенных веществ. Глеевые горизонты – это водоупоры.

Сущность механизма оглеения в своей основе едина и в кислых, и в щелочных условиях развития разных типов почв: это дифференциация почвенных соединений по их агрегатному составу, формам миграции, кислотно-основным и иным свойствам. Важную роль при этом играют гидратация и гидролиз, окислительно-восстановительные реакции и комплексообразование мобилизованных в растворимое состояние ионов металлов (Fe^{2+} Mn^{2+}, Al^{3+}) с органическими лигандами ВОВ (в том числе и фульвокислотами): Т.В. Аристовская, И.С. Кауричев, С.В. Зонн, Е.Д. Никитин, А.Д. Фокин, И.М. Яшин, Я. Сюта, В. Блумфильд.

Результаты модельных лабораторных опытов (И.М. Яшин, 1993) позволяют выделить ряд микропроцессов при взаимодействии компонентов ВОВ, мобилизованных в раствор из хвои ели и мхов, с оглеенным бескарбонатным суглинком при периодически застойном водном режиме:

1) мобилизация в растворимое состояние из алюмосиликатов морены ионов Ca^{2+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Al^{2+}, Al^{3+};

2) трансформация форм указанных ионов с участием ВОВ кислотной природы и анаэробной микрофлоры, включающая превращение коллоидов с образованием гидрозолей и гидрогелей Fe, Al и Si;

3) формирование устойчивых (водорастворимых) металлорганических соединений, способных к миграции;

4) участие гидратированных ионов $Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)^{2+}$, $[Al(H_2O_6)]^{3+}$, $Si(OH)_3$ в ионообменных реакциях;

5) кольматаж и резкое ухудшение инфильтрации растворов;

6) последующая диффузная сегрегация мобилизованных ионов и коллоидов (в том числе и части ВОВ) вокруг центров конденсации при наступлении фазы окисления (период иссушения почв). Следовательно, оглеение выступает *мощным стартовым механизмом*, интенсифицирующим процессы трансформации минералов, заметно повышая разнообразие состояний и форм химических элементов, а также не менее *действенным тормозом,* предохраняющим почвы таежных ландшафтов от интенсивного выноса мобильных продуктов почвообразования. Характерными чертами оглеения почв являются формирование коллоидных систем и периодическая интенсификация

реакций в цепи биохимической и физико-химической трансформации соединений почвы и породы (рис.8).

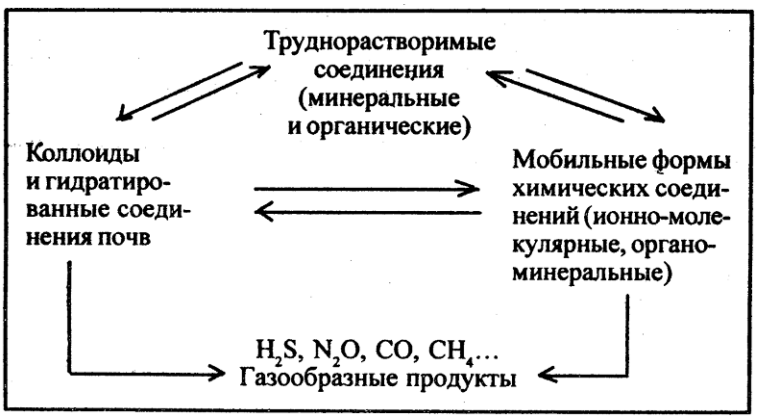

Рис. 8. Схема взаимосвязи и трансформационные потоки веществ при оглеении (И.М. Яшин, 1993, 2013).

Макропроцесс подзолообразования по своей сущности имеет *биогеохимическую природу*. Он дифференцирован в пространстве и времени по уровням проявления (разные масштабы, скорости и формы превращения веществ и энергии и др.) и химической организации соединений сообразно специфике функционирования экосистем и геохимических ландшафтов. Так, в подзолистых почвах подзоны южной тайги (при отсутствии сезонного переувлажнения, в частности, под кронами зрелых елей) можно выделить ряд процессов, диагностирующих подзолообразование: *активная мобилизация ВОВ с кислотными и хелатирующими свойствами, сорбционное комплексообразование, возможно, лессиваж, биогенная и абиотическая миграция металлорганических комплексов в почвенном профиле.* Эти процессы реализуются без коллоидной фазы трансформации почвенных соединений, что характерно для оглеения.

С экологической точки зрения реакции трансформации почвенных минералов – следствие направленного воздействия продуктов жизнедеятельности групп живых организмов таежных экосистем, в частности, ВОВ, на подзолистую почву с целью эффективного поиска и *симбиозного усвоения макро- и микроэлементов питания*, находящихся в труднодоступном и рассеянном состоянии. С помощью указанных процессов и элементарных реакций живые организмы успешнее *адаптируются к суровым биоклиматическим условиям таежной зоны*, воздействуют на среду обитания – почву, формируя и изменяя ее.

Однако этим не исчерпывается значение выполненных исследований с целью познания сущности и механизма трансформации минералов при *подзолообразовании*. Полученные фактические данные можно использовать при прогнозировании закономерностей миграции и аккумуляции веществ на

почвенно-геохимических барьерах в почвах, в том числе и химически активных продуктов возможного техногенного загрязнения («кислотные дожди», тяжелые металлы).

Что нового в современной концепции подзолообразования

Наиболее важными положениями *современной концепции* о генезисе подзолистых почв являются (И.М. Яшин, И.С. Кауричев, 2000):

1) признание процесса подзолообразования как результата функционирования таёжных (хвойных) экосистем в особых ландшафтно-географических условиях таёжной зоны при своеобразном биогеохимическом круговороте химических элементов;

2) развитие представлений о характере *движущих сил (биогенное кислотообразование)*, вызывающих радикальную трансформацию многообразных веществ и их перераспределение в профиле почв подзолистого типа;

3) разработка положения *об экологических аспектах гумусообразования* в почвах тайги, в частности, обоснование экологических функций водорастворимых органических веществ (ВОВ), имеющих ярко выраженные кислотные и комплексообразующие свойства;

4) раскрытие в модельных опытах совокупности микропроцессов и механизмов реакций, обусловливающих своеобразие сорбционно-десорбционных взаимодействий групп ВОВ (в том числе и нативных фульвокислот) с минералами и коллоидами почвы (в частности, кислотный гидролиз, хелатизация, комплексообразование, реакции восстановления без оглеения…);

5) обоснование химического и молекулярно-массового состава и форм миграции новообразованных продуктов почвообразования;

6) формирование представлений *об уровнях и специфике проявления абиогенной (водной) миграции веществ*: профильный (почвенный), парцеллярный (экосистемный) и ландшафтный (в сопряжённых элементарных геохимических ландшафтах), а также об их критериях и параметрах: масштаб, скорость и мобилизация веществ…;

7) накопление данных *о поведении химических соединений на почвенно-геохимических барьерах* (градиент барьера, импульс миграции);

8) уточнение представлений о механизмах поглощения-выделения природных химических соединений (не только минеральных солей) в реальных экосистемах для диагностики периода и ёмкости биогенного круговорота элементов и уточнения *биогеохимических функций биоты*.

Оценка *экстенсивных и интенсивных факторов миграции* веществ представляет самостоятельный и весьма актуальный раздел экологического почвоведения (Карпачевский Л.О., 1996), методология которого, так или иначе, опирается на достижения теории динамики сорбции и хроматографии (Рачинский В.В., 1964) и гидрофизические параметры оценки

направленности и скорости движения природных почвенных растворов (Роуэлл Д.Л., 1998).

На основании собственных и литературных сведений выполнен анализ движущих сил, специфики реакций, особенностей состава и свойств новообразованных продуктов, формирующихся при развитии процессов глее - и подзолообразования (Яшин И.М., Кауричев И.С., 1996), табл. 16.

Оподзоливание способствует также трансформации веществ в составе сажи, пыли, попадающих в почву, и мобилизации в раствор ионов ТМ и иных

Табл. 16. Сравнительная оценка движущих сил, специфика микропроцессов и продуктов глее - и подзолообразования в почвах таёжных экосистем и геохимических ландшафтов европейского Севера (Яшин И.М., Кауричев И.С., 1996)

Основные явления и процессы	Характеристика нативных процессов почвообразования	
	Подзолообразование	Глееобразование
I. Движущие силы биогеохимической миграции и трансформации веществ: а) биогенный цикл; б) абиогенный цикл II. Ландшафтно-геохимические условия: а) характеристика элементарного ландшафта, б) тип миграции продуктов почвообразования, в) почвенно-геохимические барьеры, г) залегание почв по рельефу. III. Оценка БИК (тайга). IV.Почвенно-биогеохимическая обстановка таёжной экосистемы: а) окислительно-восстановительные условия, б) преобладающие катионы в ПТК, в) характер превращения наземного растительного опада, г) образование и	а) Таёжные экосистемы (высшие хвойные растения, мхи, лишайники, микроскопические плесневые грибы и продукты их жизнедеятельности); б) Вода как фактор переноса веществ в профиле почвы, ландшафте. а) Автономный ЭГЛ (элювиальный) и транзитно-элювиальный; б) Биогенный и абиогенный циклы миграции; в) Биогенный, карбонатный, окислительный; кислотный (гор. A_2 – осаждение Si); г) Почвы водоразделов, склонов моренных гряд, речных и озёрных террас. Биомасса ~ 500-300 ($ц \cdot га^{-1}$); Прирост – 40-80 ($ц \cdot га^{-1}$). а) Eh > 350 мВ; б) H_3O^+ и Al^{3+} (редко Ca^{2+}); в) Биогенное кислотообразование при ярком дефиците ионов Ca^{2+}, минерализация ВОВ и их миграция: формирование при этом в гор. A_2 и A_2B группы ФК; г) В кислом интервале pH биополимеры типа ГС не формируются. Доминируют ВОВ с низкими молекулярными массами (ММ < 1000);	а) Анаэробные микроорганизмы (и продукты их жизнедеятельности); б) Вода как фактор гидролиза поливалентных металлов; вода + ВОВ как фактор создания анаэробной среды. а) Супераквальный и субаквальный (подводный) - локальный и элювиальный ЭГЛ; б) Диффузия и коллоидная миграция Fe, Mn, Al и Si; в) Глеевый (без H_2S); сероводородный; периодически окислительный; г) Почвы низин, болот, зарастающих озёр и депрессий. Точная диагностика затруднена. а) Eh < 350 мВ (нередко < 0); б) H_3O^+ и Fe^{2+} (нередко и Al^{3+} в кислой среде); в) Биогенное кислотообразование с накоплением индивидуальных органических веществ в составе ВОВ, их минерализация и трансформация; г) В зависимости от значения pH и наличия ионов Ca^{2+} процесс образования ГС может быть как активным, так и заторможенным (с различным качественным составом ГС); д) Доминирует биогеохимическое выветривание при активном участии ВОВ (как энергетического фактора). Очень динамичны реакции трансформации форм и состояний веществ: гидратация минералов, гидролиз поливалентных металлов и кремния – образование коллоидных систем. Сорбция ВОВ коллоидами. Модификация и ВОВ и самих

превращение групп ГС, д) реакции, типичные для превращения почвенных минералов, е) водный режим, ж) реакция среды [H^+], з) Биогеохимические эндемии. V.Особенности почвенно-геохимической миграции продуктов почвообразования: а) разнообразие мигрантов и их формы, б) дальнодействие. VI.Основные горизонто- и профилеобразующие процессы почвообразования.	д) Доминирует биогеохимическое выветривание при активном участии ВОВ. Гравитационные потоки влаги устраняют разобщённость зон мобилизации и взаимодействия ВОВ с минералами. При этом зоны реакций постоянно обновляются, т. к. продукты удаляются. Сорбция ВОВ минералами, имеющими небольшую сорбционную ёмкость. Мобилизация в раствор ионов Ca^{2+}. Перевод их в биогенный и абиогенный потоки. е) Промывной; ж) pH < 5,5; з) Дефицит ионов Ca^{2+}, Co^{2+}, Mg^{2+}, K^+, N, P, F вызывает болезни растений, а у животных и людей – малокровие, рахит и кариес зубов. Избыток ионов Al^{3+} и Pb^{2+} негативно влияет на нервную систему. а) Включает число геохимических барьеров (см. выше) и формы миграции веществ: ионно-молекулярные и металлорганические комплексные соединения; локальный перенос тонкодисперсных частиц возможен при дефиците ВОВ и оглеении отдельных горизонтов подзолистых почв; б) Почвы экосистем и сопряжённых геохимических ландшафтов. Биогенное кислотообразование, кислотный гидролиз, сорбционное комплексообразование.	коллоидов. Активный этап (при устойчивом оглеении) «быстро» затухает из-за ухудшения инфильтрации растворов. Доминируют диффузия и плёночно-капиллярное движение веществ. Трансформация биофильных элементов – N, P, S и образование восстановленных продуктов (H_2S, CH_4, N_2O). Оглеенные горизонты – продукты жизнедеятельности анаэробной микрофлоры при активном участии коллоидов; е) Застойный (грунтовое оглеение) или периодически застойно-промывной; ж) pH варьирует в широком интервале – от кислого до слабощелочного; з) Компоненты ВОВ резко ухудшают качество питьевых вод (колодцы, скважины...), ВОВ существенно усиливают миграцию любых металлов в почвах и пищевых (трофических) цепях… а) То же (см. выше), формы миграции веществ – коллоидная, металлорганические комплексы, диффузия ионов в оглеенных горизонтах; б) Глеевые горизонты почв тайги и частичный вынос продуктов почвообразования в депрессии. Развитие восстановительных процессов, образование гор. $A_0^{тп}$, Т и $A_д^т$, гумусообразование, активное кислотообразование, гидролиз, коллоиды, кольматаж, сегрегация Fe, Mn, оглинивание гор. В, лессиваж (при поверхностном оглеении). Формирование газов с восстановительными функциями: H_2, N_2O, N_2, NH_3, CO. Ферролиз минералов?

веществ. Затем их ионные формы могут включаться в трофические цепи.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите ландшафты тайги на Европейском Севере России.
2. Назовите особенности и виды ЭГЛ.
3. Перечислите виды аграрных ландшафтов в зоне тайги.
4. Какие лимитирующие факторы учитывают при выборе садов, пашни?
5. Назовите виды лугов в таежной зоне.
6. Какие типы почв распространены в зоне тайги?
7. По каким морфологическим признакам подзолы отличаются от подзолистых почв?
8. Охарактеризуйте процесс оглеения почв в таежной зоне.
9. В чем сущность процесса подзолообразования?
10. Какая взаимосвязь существует между оглеением и подзолообразованием?
11. Охарактеризуйте термин «функционирование» таежных экосистем.
12. Назовите экологические функции водорастворимых органических веществ с кислотными и комплексообразующими свойствами.
13. В чем состоят генетические особенности почв тайги на двучленах?
14. Как в зоне тайги именуются автоморфные почвы песчаного и супесчаного гранулометрического составов?
15. Какие формы миграции характерны для ионов железа в подзолах?
16. Какую роль в ландшафтах тайги играют почвенные барьеры?
17. Какое значение играет биота, породы и рельеф в генезисе почв?

Тест-задания к модулю 2.

1. *Какие ландшафты характерны для таежной зоны*?
   а) мангровые,
   б) тундровые,
   в) полевые,
   г) болотные,
   д) лесные.
2. *Какие экосистемы входят в полевой ландшафт тайги*?
   а) сенокосные,
   б) болотные,
   в) лесополосы,
   г) неудоби и гари,
   д) пашня.
3. *Подчеркните правильный индекс горизонта(ов) пахотной дерново-подзолистой почвы*:

а) Т; б) С; в) G; г) В, д) A_0, е) A_1.

4. *Объясните, какие виды ландшафтов изображены на рис. 1 и в чем их взаимосвязь*?

а) информационная,
б) миграционная,
в) агротехническая,
г) экологическая.

5. *Кратко объясните суть процесса оглеения*:

а) деятельность аэробных микроорганизмов,
б) влияние избыточного увлажнения и диффузии,
в) биохимические реакции с участием анаэробов,
г) водная миграция веществ.

6. *Отметьте мезо процессы, обусловливающие подзолообразование*:
а) испарение,
б) образование почвенной структуры,
в) водная миграция веществ,
г) кислотный гидролиз почвенных минералов,
д) формирование конкреций.

7. *По каким признакам дерновые луговые почвы отличаются от пахотных дерново-подзолистых в подзоне южной тайги*?
а) по генетическим,
б) по морфологическим,
в) по цвету,
г) по растительности,
д) по истории освоения людьми.

8. *В чем принципиальное отличие подзола песчаного на древнем аллювии от дерново-подзола песчаного на двучленных отложениях*?
а) в использовании почвы (лес и пашня),
б) в окультуривании почвы,
в) в генезисе,
г) в залегании по рельефу,
д) в характере почвообразующей породы.

9. *Где в лесном таежном ландшафте находится автономный элементарный геохимический ландшафт*?
а) в пойме реки,
б) на террасе,
в) на плакоре увала,
г) в пределах «подошвы» склона увала.

10. *Где в полевом ландшафте находится супераквальный элементарный геохимический ландшафт*?
а) в осушенном болоте,
б) в пойме реки,
в) на террасе реки,
г) на склоне холма.

11. *Что происходит с водным режимом подзолистой почвы в зоне тайги на вырубках*?
а) иссушение профиля,
б) заболачивание и переувлажнение,
в) уплотнение мелкозема,
г) заиливание и переохлаждение.

12. *Что такое биогенное кислотообразование в экосистеме тайги*?
а) формирование органических кислот в лесной подстилке,
б) поступление кислот в составе «кислотных дождей»,

в) адаптивная функция таежной биоты – хвойной вечнозеленой растительности, кустарничков, лесной подстилки и анаэробных микроорганизмов и корневых выделений,
г) кислотность от угольной кислоты и ионов алюминия.
13. *Какую экологическую роль играет биогенное кислотообразование*?
а) эффективный поиск и усвоение химических элементов,
б) защитная функция – резкое снижение токсичности ионов ТМ и AL^{3+},
в) миграционная функция – вынос токсичных веществ из корнеобитаемого слоя почвы,
г) средообразующая функция – участие в кислотном гидролизе минералов и коллоидов почвы.
14. *Почему угольная кислота не может участвовать в трансформации веществ почвы и ТМ*?
а) очень слабая,
б) ее очень мало в почве,
в) она инактивируется веществами почвы: органическими кислотами,
г) она не конкурентоспособная с органическими кислотами в таежных экосистемах.
15. *Какие типы почв наиболее широко распространены в ландшафтах таежной зоны?*
а) черноземы,
б) каштановые,
в) солончаки и солоди,
г) дерновые,
д) подзолистые,
е) болотные.
16. *В какой части крупных речных долин Европейского Севера распространены подзолы иллювиально-железистые песчаные и подзолы иллювиально-гумусово-железистые песчаные*?
а) в поймах,
б) на склонах холмов и увалов,
в) в болотах,
г) на речных террасах.
17. *Какую роль в качестве почвообразующей породы играют мореные суглинки в таежных ландшафтах?*
а) водоупора,
б) источника ионов кальция и фосфорной кислоты,
в) источника органических веществ,
г) субстрата при формировании суглинистых подзолистых почв.
18. *Назовите причины формирования болот в таежных ландшафтах*:
а) зарастание озер олиготрофами,
б) масштабные рубки лесов,
в) осушение болот открытой мелиоративной сетью каналов,
г) биоклиматические условия тайги совместно с почвообразующими породами – двучленными отложениями и мореной.

19. *Какую экологическую роль играют болота в ландшафтах тайги*?
а) истоки рек,
б) водоохранную,
в) места лежки зверей и гнездовья птиц,
г) как охотничьи угодья.
20) *Отметьте основные экологические функции таежных лесов*:
а) водоохранная,
б) ресурсная,
в) эстетическая,
г) средообразующая,
д) газовая и биогеохимическая.
21. *Какие изменения в водном режиме почв происходят при масштабных рубках в зоне тайги*?
а) происходит заболачивание,
б) происходит зарастание кустарником,
в)образуются луга, и улучшается кормовая база животноводства,
г) отмечается оглеение почв и усиление внутрипрофильной миграции.
22. *Объясните смысл термина «биогенное кислотообразование»:*
а) образование органических кислот микроорганизмами, приспособленными к экстремальным условиям тайги,
б) выщелачивание органических кислот из мощных лесных подстилок,
в) это выделение через корневые системы таежной растительности органических кислот,
г) адаптивная функция таежной биоты (всего комплекса живых организмов).
23. *Чем обусловлена кислотность подзолистых почв таежных экосистем?*
а) ионами алюминия,
б) органическими кислотами и гумусовыми веществами почвы,
в) угольной кислотой,
г) первыми двумя факторами.
24. *Вследствие каких реакций в лесных подзолистых почвах происходит мобилизация в раствор ионов алюминия?*
а) реакции ионного обмена с ионами водорода,
б) реакции ионного обмена с ионами кальция,
в) реакции ионного обмена с ионами натрия,
г) реакции ионного обмена с ионами железа и марганца.
25. *Какую роль играет кислотность почв в агроландшафтах при проведении ОВОС?*
а) как фактор мобильности некоторых экотоксикантов – ионов ТМ,
б) как фактор сукцессий групп микроорганизмов,
в) как фактор мобилизации в раствор анионов фосфорной кислоты,
г) как фактор появления в почвенном растворе токсичных ионов алюминия.

26.*Какие ландшафтно-экологические условия благоприятствуют процессу подзолообразования?*

а) биогеохимический круговорот,
б) хвойная растительность,
в) почвообразующие породы,
г) промывной водный режим почв.

27.*По каким параметрам отличаются процессы глее- и подзолообразования в лесных таежных экосистемах и агроландшафтах?*

а) уровнем организации веществ: глееобразование - горизонтный биохимический процесс, а подзолообразование – экосистемный биогеохимический процесс,
б) по кислотности,
в) по составу и свойствам ВОВ,
г) по продуктам почвообразования и их миграции в профиле.

28. *Почему в одних фациях тайги формируются подзолистые почвы, а в других – дерново-подзолистые?*

а) разные растительные сообщества,
б) разные почвообразующие породы,
в) разное залегание почв по рельефу,
г) разное использование почв в историческом плане.

29. *Какие ландшафты распространены в зоне тайги?*

а) охотничьи,
б) грибные,
в) рыбные и озерные,
г) лесные,
д) болотные,
е) пустоши,
ж) гари,
з) аграрные ландшафты,
и) пойменные.

30. *Чем отличаются пойменные ландшафты тайги от автономных (на плакорах под хвойным лесом)?*

а) почвами: в пойменных ландшафтах – аллювиальные, а на плакорах - подзолистые почвы,
б) растительностью,
в) характером использования ландшафтов,
г) природными ресурсами,
д) охотничьими угодьями.

Вы будете изучать:
- Черноземы лесостепной зоны и их экологическое состояние,
- Особенности деградации черноземов лесостепи России,
- Причины неустойчивости гумусовых веществ черноземов,
- Моделирование деградации гумусовых веществ чернозема при аридизации климата и развитии солонцового процесса.

Цели модуля:
- Дать представление о ландшафтах и почвах лесостепной зоны,
- Рассмотреть эколого-геохимическую ситуацию,
- Охарактеризовать роль аридизации и пожаров на эволюцию черноземов,
- Выявить антропогенное воздействие на черноземы.

После изучения модуля вы сможете:
- Диагностировать экологическое состояние черноземов лесостепи,
- Знать причины и процессы деградации черноземов,
- Понимать особенности неустойчивости гумусовых веществ черноземов в современный период,
- Путем экспериментального моделирования оценивать направленность влияния засоления черноземов при аридизации климата и развития солонцового процесса почвообразования.

Аннотация

В модуле 3 рассматриваются экологические особенности ландшафтов лесостепи и экологическое состояние черноземов на примере территории Среднего Поволжья. Охарактеризованы свойства черноземов выщелоченных и обыкновенных, лугово-черноземных почв поймы реки и солонцов черноземных в разных сельскохозяйственных угодьях – пашня, степь, луг, выгон.

Выявлены и обсуждаются причины современной деградации черноземов – аридизация климата, засухи, пожары и влияние ионов натрия золы растений на пептизацию минералов и гумусовых соединений почв. Уточнены экологические риски черноземов и отмечена негативная роль «плужной подошвы».

3.1. Экологическое состояние черноземов лесостепи

К югу от зоны тайги и хвойно-широколиственных лесов России простирается *лесостепная зона* (от Карпатских предгорий до Алтая). Это древний регион поселения людей и интенсивного использования природных ресурсов. Лесостепь характеризуется теплым и умеренно сухим климатом.

Соотношение тепла и влаги близко к оптимальному. Увлажнение, в частности, в период вегетации неустойчивое. Бывают жаркие и засушливые годы. Почвообразующие и подстилающие породы — лёссы и лессовидные *суглинки податливые к эрозии*, поэтому вследствие летних ливней здесь формируется своеобразный *овражно-балочный рельеф*. Растительный покров лесостепи — сочетание лесных и степных формаций. Здесь возделывают такие с.-х. культуры как пшеница, кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла.

Южнее лесостепи располагается зона степей[2]. Она отличается континентальным климатом. Здесь больше, чем в лесостепи солнечного света и тепла, меньше выпадает атмосферных осадков, грунтовые воды залегают более глубоко (более 7-10м). Эта географическая зона с неустойчивым и недостаточным увлажнением. Чтобы выращивать в этих ландшафтах высокие урожаи, целесообразны мероприятия, которые направлены на улучшение водного режима почв (*создание защитных лесных полос, задержание снега, внедрение почвозащитных севооборотов, залесение оврагов и балок, капельное орошение*). *Почвы — обыкновенные и южные черноземы*. Преобладают типичные степи, их растительный покров представлен ковылем, типчаком, тонконогом и разнотравьем. В настоящее время степи почти полностью распаханы и эродированы. Сенокосов и пастбищ мало.

Рассмотрим кратко экологическое состояние черноземов.

В последние годы в лесостепи отмечено заметное снижение урожайности возделываемых культур (и оз. пшеницы), в частности, в Аткарском районе Саратовской области. Это связано с возросшими экологическими рисками и снижением уровня плодородия почв. Еще в 1957 году И.С. Кауричевым и Н.Н. Поддубным была отмечена тенденция ухудшения почвенного плодородия и дефицит влаги в почвах. Вместе с тем экологические риски для условий лесостепной зоны РФ охарактеризованы неполно, не отмечено активное засоление черноземов. Данные вопросы весьма актуальные и важные, особенно в связи с глобальной аридизацией климата и очаговым опустыниванием степных ландшафтов Среднего Поволжья особенно в 2008-2012 гг. Длительная засуха 2010 г. с пожарами, охватившими всю Европейскую часть России, способствовала также гибели многих фаций березняков, ельников, лугового разнотравья на плакорах, в распадках и

лесополосах, изменению свойств черноземов после пожаров.

Объектами изучения были разные подтипы черноземов. Фото сделаны одним из авторов аппаратом Nikon COOLPIX P90.

[2] **Почвы степей** — черноземы типичные и обыкновенные очень сильно деградированы, о чем весьма подробно излагается в книге: «Антропогенная эволюция черноземов». Воронеж. 2000. (ред. А. П. Щербаков). 412 с.

Рис. 9. «**Чистый пар**» на черноземах в пределах 1-й надпойменной террасы р. Большой Колышлей при длительной засухе является «виновником» засоления, осолонцевания и превращения черноземов сначала в черноземы солонцеватые, а затем солонцы черноземные (учхоз «Муммовское» Саратовской области; фото Яшина И.М., 2006).

При картировании почвенного покрова учхоза отмечено, что *мезорельеф* способствует пространственной дифференциации черноземов на подтиповом уровне, а *микрорельеф* определяет комплексность почвенного покрова с появлением *почв солонцового ряда*. В полевых ландшафтах выявить указанные особенности достаточно сложно, поскольку при распашке нарушается морфология верхних горизонтов. Поэтому нами почвенный покров исследовался с *помощью маршрутных и стационарных методов*, «ключей» и закладки катен в разных фациях, используя для сравнения целинные степные и лесные участки. Ключевые участки выбирали на топографической карте вдоль условной линии – от русла реки (в южном направлении) через пойму, надпойменные террасы к плакору коренного берега р. Б. Колышлей. Среди лабораторных методов применялись традиционные химические и физико-химические аналоги, например, хроматография, ионометрия.

Были заложены также полевой и лабораторный модельные опыты в учхозе «Муммовское» для изучения фильтрации воды (рис. 11) в черноземе солонцеватом на плакоре (гор. A_1) и *оценки роли ионов натрия золы* растений (*после пожаров*) на мобилизацию в раствор и водную миграцию гумусовых веществ в форме гуматов и фульватов натрия (рис. 14). Исследуемые ландшафты лесостепи учхоза «Муммовское» расположены на плакорах и в долине реки Б. Колышлей: пойме, на надпойменных террасах; абсолютные отметки местности 178-224 м над у.м. Гранулометрический состав черноземов на надпойменных террасах супесчаный и отличается высоким содержанием фракции песка. По западинам здесь лугово-черноземные почвы

Рис. 10. Профиль деградируемого чернозема на склоне коренного берега р. Большой Колышлей: глубже гумусового горизонта четко заметна «хроматограмма» продуктов деградации гумусовых веществ (учхоз «Муммовское» Саратовской области, вблизи д. Марфино; фото Яшина И.М., 2012).

имеют *средне– и тяжелосуглинистый состав*. *Подстилающие породы четвертичного возраста* генетически взаимосвязаны с почвообразующими (лессовидными карбонатными суглинками) и представлены известняками и опоками мелового периода, *часто засолёнными, ожелезненными*. Песчаные древнеаллювиальные отложения надпойменных террас перемежаются с дериватами и каменистым элювием осадочных пород морского генезиса. Засоленные породы залегают на глубине 1,7-2,7 м *и оказывают существенное влияние на процессы почвообразования,* вызывая засоление и осолонцевание черноземов при усиливающейся аридизации климата и постепенном опустынивании степных ландшафтов. *Атмосферная засуха сочетается с иссушением чернозёмных почв на значительную глубину* при высоких температурах почвы. При этом возможен также и эоловый привнос легкорастворимых солей пыльными бурями из Прикаспийской низменности и Средней Азии с солончаков.

Травянистые ассоциации представлены разнотравно-ковыльно-типчаковыми и типчаково-ковыльными (на плакоре коренного берега) сообществами; в пойме реки доминирует луговое разнотравье на аллювиальных и лугово-черноземных грунтово-глееватых почвах. Данные ассоциации растений формируют большую биомассу (укос составил 1,8-2,4 кг/м^2 зеленой массы), в которой доля корней составляет 67-78%, поэтому нативные чернозёмные почвы с лугово-степной растительностью имеют высокую биологическую активность, а процесс чернозёмообразования в них дополняется грунтовым оглеением мелкозема (глубина залегания грунтовых вод - 154 см), что лимитирует выращивание в пойме плодовых культур.
Морфология профиля чернозёмов обыкновенных (нередко солонцеватых,

А **В**

Рис. 11. А – дипломник Гусаим Роман изучает фильтрацию воды в черноземе солонцеватом (опушка дубравы, плакор); В – аспирант Петр Кузнецов устанавливает сорбционные лизиметры в профиле лугово-черноземной почвы в пойме р. Б. Колышлей, под луговым травами, для исследования водной миграции веществ (фото Яшина И.М.: А – 2012, В - 2006 гг.).

рис. 12,13), приуроченных к надпойменным террасам (и плакорам), отличается небольшим гумусово-аккумулятивным горизонтом (в среднем 34-47 см), супесчаным и легкосуглинистым гранулометрическим составом. Структура мелкозема горизонта A_1 непрочно комковато-пылеватая; в нем часто выражена плотная «плужная подошва» в пределах 17-24 см. Вскипание от 10% HCL – под гор. A_1 – в $\mathbf{B_{ca}}$. Форма карбонатов кальция – белоглазка.

А В

Рис. 12. Профили солонца черноземного автономного глубоко столбчатого (А) и чернозема обыкновенного среднесуглинистого (В), развитых на лессовидных карбонатных покровных суглинках - учхоз «Муммовское» Саратовской области – фото И.М. Яшина, 2011.

Морфология выщелоченных черноземов имеет ряд иных особенностей: более мощные (в среднем 64-79 см) гумусовый горизонт, ионы кальция выщело-

Рис. 13. Чернозем обыкновенный легкосуглинистый, залегающий на пологом склоне балки с разнотравно-луговой растительностью (**залежь**). В профиле почвы четко выражена плужная подошва на глубине 21-37 см (учхоз «Муммовское», 2011).

чены глубже иллювиального горизонта. В *лесных парцеллах плакоров профили данных почв* обычно заметно трансформированы сурками, кротами и иными почвенными животными. Поэтому почвенные образцы *здесь нужно отбирать не буром, а только лопатой*. Иначе в гумусовом горизонте можно обнаружить и соли, и $CaCO_3$, что негативно скажется на диагностике подтипа чернозема. В агроландшафтах выщелоченные черноземы занимают ложбины стока и понижения на 1 и 2-й надпойменных террасах. Здесь они образуют комплексы с *лугово-черноземными грунтово-глееватыми почвами*, являющимися самыми плодородными почвами лесостепных ландшафтов. Последние имеют гумусово-аккумулятивный горизонт мощностью 117-143 см. Весной и осенью в понижениях рельефа надпойменных террас образуются вымочки и верховодка. Поэтому такие участки лучше отвести под древесно-кустарниковые «колки» - не распахивать: здесь будут выходы родников, места гнездовья птиц и лежки зверей. Это будет началом ландшафтной организации территории учхоза.

Солонцы черноземные (автоморфные) и полугидроморфные средне- и тяжелосуглинистые распространены локально (небольшими «пятнами»). Они обычно входят в состав двучленных почвенных комплексов с черноземами обыкновенными солонцеватыми. Залегают солонцы в небольших бессточных понижениях на 1-й надпойменной террасе. На пашне они диагностируются *по глыбистой структуре* (при зяблевой вспашке на поверхность почвы выпахиваются крупные глыбы очень плотного гор. A_1EL, B_1), а также по химическим свойствам (табл. 1).

В «*плужной подошве*» черноземов отмечается слитость и сезонное оглеение. В этих условиях из наземных и корневых растительных остатков в раствор мобилизуются *низкомолекулярные органические кислоты*, влияющие как на трансформацию высокомолекулярных гуминовых веществ, так и *на кислотность черноземов*: отмечаются участки со слабокислой реакцией. При оглеении также активно развиваются микроскопические плесневые грибы,

которые продуцируют органические кислоты и *микотоксины*, являющиеся суперэкотоксикантами. Микотоксины из почв попадают в сено при его заготовке; плесневые грибы особенно при плохой *просушке сенажа могут вызвать гибель животных – лошадей, коров, овец*. Превентивные меры связаны с экологической безопасностью почв – уничтожением «плужной подошвы» и улучшением аэрации почв.

3.2. Причины деградация гумусовых веществ и современная эволюция черноземов речных долин

Наряду с кислотами в трансформации гумуса и почвенных минералов черноземов *важнейшая роль принадлежит ионам натрия и магния*. Катионы щелочных и щелочноземельных оснований интенсивно поступают в верхние горизонты черноземов за счет 2-х процессов. Первый – за счет миграционных восходящих потоков из *засоленных пород в летние жаркие месяцы*: поверхность почвы, не защищенная растительностью, например, на «чистых парах» нагревается до 70^0 С. Движущими силами восходящих потоков ионов солей в черноземах и солонцах агроландшафтов учхоза являются *градиенты температуры, концентрации и всасывающего давления почвенной влаги*.

A B

Рис. 14. Модельный лабораторный опыт по изучению влияния ионов натрия золы растений (после пожаров) на мобилизацию в раствор и водную миграцию гуматов и фульватов натрия в образце чернозема выщелоченного**: А - начало** эксперимента и **В – активная стадия** опыта; после 37-ми часового опыта фильтрация прекратилась из-за кольматажа пор коллоидами: ионы натрия вызывают гидрофилизацию коллоидов кремния, железа, алюминия (фото Яшина И.М., 2012).

Самых верхних горизонтов почв достигают только нейтральные соли – NaCL, Na_2SO_4. Сульфаты при анаэробиозисе в «плужной подошве» трансформируются с участием сульфатредуцирующих бактерий сначала в *Na_2S, а затем в сульфиды Fe, Mn*, создающие локально очаги с очень черной окраской, а срезы педов – стальной окраски. Избыток ионов кальция способствует переводу *анионов фосфорной кислоты* в труднодоступные трехкальциевые фосфаты; поглощение ионов калия растениями в этих условиях заметно снижается.

Табл.2. Химические свойства черноземов и солонцов учхоза «Муммовское» (2011).

Глубина отбора образцов, см	pH_{H_2O}	$C_{орг}$ по Тюрину, %	Нг	S	Подвижные формы, мг/кг		Na+, % от емкости поглощения
			мг-экв на 100 г.		P	K	
Р. 3. **Чернозем выщелоченный** супесчаный, развитый на опоках. Коренной берег р. Б. Колышлей – **березово-дубовая парцелла** с луговым разнотравьем.							
A_1 10-20	5, 7	3,9	2,3	22,4	53,7	23,9	0,5
A 22-32	5,8	2,3	2,5	21,3	44,1	13,4	0,7
AB 40-50	5,1	1,8	3,4	19,5	39,7	35,7	0,9
B 63-73	6,4	0,9	1,4	24,7	23,8	24,2	1,0
BC_{ca} 82-92	7,2	0,5	0,6	41,2	19,4	33,8	1,7
Р. 1. **Чернозем обыкновенный** легкосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. 2-я надпойменная терраса р. Б. Колышлей. **Посев овса** на зеленый корм.							
A_1 0-24	6,4	2,8	3,8	29,5	32,5	246,3	4,4
AB 34-44	6,7	1,7	3,0	26,7	43,8	165,7	3,4
Bca 56-66	7,5	0,6	1,1	39,6	18,6	97,3	4,6
BCcasl 83-93	**8,1**	0,4	0,4	46,8	14,7	124,5	5,9
Р. 2. **Чернозем обыкновенный** солонцеватый супесчаный на лессовидном карбонатном суглинке. 1-я надпойменная терраса р. Б. Колышлей. **Выгон**: лугово-степное разнотравье.							
A_1 12-22	7,1	3,1	3,2	25,4	39,7	132,9	6,7
A 35-45	7,2	1,2	1,4	26,7	54,4	98,5	11,2
AB 53-63	7,4	0,8	0,7	19,4	37,1	175,4	10,4
Bcasl 71-81	**8,3**	0,3	0,2	23,5	17,4	98,4	12,8
Р. 5. **Лугово-черноземная грунтово-глееватая** легкосуглинистая на аллювии. Пойма высокого уровня р. Б. Колышлей. Закочкаренный злаково-разнотравный **луг**.							
A_1 5-15	5,4	4,9	2,7	21,6	66,2	435,3	0,2
A 29-39	5,6	2.7	2,5	19,7	46,8	338,1	0,4
A 110-120	6,1	2,1	2,2	18,4	39,7	239,5	0,2
Р.4 **Солонец автономный черноземный** легкосуглинистый на лессовидном суглинке. Понижение на 1-й надпойменной террасе р. Б. Колышлей. Типчаково-полынная ***степь***.							
A_1EL 2-12	6,1	3,1	2,7	26,8	32,6	253,7	13,5
B_1ca 23-33	**8,4**	0,9	1,1	39,2	15,5	127,5	18,9

Второй – после засух и масштабных пожаров. Известно, что луговая и особенно степная растительность накапливают значительное количество Si, AL, Ca, Na, K. После пожаров на поверхности почв образуются небольшие по мощности *слои золы растений*. При выпадении дождей оксиды щелочей и щелочноземельных катионов претерпевают гидратацию, превращаясь в гидроксиды металлов – Ca $(OH)_2$, KOH, NaOH, то есть *в естественный щелок* с pH 13,5.

$$Na_2O + H_2O = 2\ NaOH \qquad (1)$$

При фильтрации щелочных растворов в колонке ионы натрия замещают обменно поглощенные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} почвы, приводят к пептизации гумусовых веществ чернозема и их выносу в форме натриевых солей в период дождей. Для проверки данной рабочей гипотезы и был поставлен простой модельный опыт (рис. 15, А и В). В колонке снизу – вверх последовательно располагались слои чистого кварцевого песка, слой почвы (из гор. A_1 выщелоченного чернозема), вновь слой песка и 3мм слой золы растений. Колонку постоянно промывали водой. «Пальчатая» фильтрация бурых растворов началась через 3,2 час. и продолжалась 37 часов. Было собрано 157 мл гидрозолей гумусовых веществ; подкислив данный раствор до pH 1,5, наблюдали формирование бурых хлопьев, которые через 1,4 часа полностью выпали в осадок (это высокомолекулярные гуминовые кислоты - ГК), а в растворе находились фульвокислоты (ФК). Аналитически установлено, что на долю ГК приходится 71% $C_{орг.}$ а на долю ФК – 29% по углероду.

Таким образом, после длительных засух и пожаров при последующем выпадении дождей возможна трансформация оксидов металлов золы растений, образование щелочных растворов, взаимодействие ионов натрия с гумусовыми веществами, формирование натриевых солей гумусовых веществ и их водная миграция в профиле черноземов. С этим явлением, на наш взгляд, и связан один из феноменов черноземов – их мощный гумусовый горизонт, в частности, в подтипе выщелоченного черноземе. В черноземе обыкновенном потребуется более значительная масса ионов натрия для обменных реакций, чтобы вызвать пептизацию гумуса.

Рис. 15. Эрозия в ландшафтах Среднего Поволжья – характерный геоэкологический процесс на склонах коренного берега реки Б. Колышлей (учхоз «Муммовское» Саратовской области; фото Яшина И.М., 2012).

Насколько глубоко могут проникать атмосферные осадки в гор.A_1 чернозема солонцеватого и попадать в сорбционный лизиметр, показали результаты

другого опыта на опушке дубравы (рис. 12, А). На фронтальной стенке почвенного разреза была выкопана площадка примерно 1 м^2 с бортиками 15-17 см. Моделировались условия ливневого выпадения атмосферных осадков массой 30 мм. Известно, что 1 мм осадков на 1 га соответствует 10 т воды, а на 1 м^2 поступит 1 л/ м^2. При 30 мм осадков приход составит 30 литров или 3 ведра.

Воду приливали по мере ее впитывания почвой. Результаты опыта показали, что вначале было отмечено активное впитывание воды почвой, фильтрация практически отсутствовала: создавался фронт миграции. Затем, по мере насыщения порового пространства и создания напора была отмечена фильтрация до глубины 18-21см. Сорбционный лизиметр с сухим кварцевым песком (на глубине 15 см) увлажнился полностью, что подтвердило возможность функционирования таких устройств в условиях лесостепи на черноземах. Но лучше в сорбционные лизиметры все же загружать мокрые сорбенты и кварцевый песок (Яшин и др., 1996).

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте биоклиматические условия лесостепной зоны.
2. Какие почвы распространены в зоне лесостепи?
3. Какие формы карбонатов кальция типичны для черноземов?
4. Назовите экологические риски для черноземов лесостепи.
5. Что необходимо для процесса черноземообразования?
6. В каких ландшафтных условиях черноземообразование замещается осолонцеванием почвы?
7. Какую экологическую роль играет «плужная подошва» в лесостепной и степной зонах?
8. К чему приводит деградация черноземов?
9. В какой форме в черноземах могут мигрировать гуминовые и фульвокислоты?
10. Почему в ландшафтах лесостепи так активна водная эрозия?
11. Назовите причины деградации черноземов.
12. Какие мероприятия следует применять для предотвращения эрозии почв?
13. Назовите растительные сообщества лесостепи.
14. Какую экологическую роль играют пожары и засухи в лесостепи?
15. Почему в черноземах обыкновенных часто наблюдается дефицит доступных форм фосфора?
16. Какие факторы обусловливают осолонцевание черноземов?
17. Какие подтипы черноземов более благоприятны для возделываемых культур: выщелоченные или обыкновенные?
18. Где более четко выражена плужная подошва: в черноземах выщелоченных или в черноземах обыкновенных, и почему?

Тест-задания к модулю 3.

1. *По каким параметрам отличаются биоклиматические условия тайги и лесостепи*?
   а) биомассе,
   б) водному режиму,
   в) рельефу,
   г) индексу увлажнения,
   д) тепловому режиму.
2. *Какие почвы распространены в лесостепной зоне*?
   а) каштановые,
   б) аллювиальные,
   в) черноземы южные,
   г) черноземы горные,
   д) черноземы выщелоченные и обыкновенные.
3. *Какие почвообразующие породы наиболее широко распространены в зоне лесостепи*?
   а) морена каменистая,
   б) засоленные породы,
   в) лессовидные карбонатные суглинки,
   г) древнеаллювиальные песчаные отложения,
   д) дериваты опок.
4. *Чем чернозем обыкновенный отличается от чернозема выщелоченного*?
   а) мощностью профиля,
   б) степенью насыщенности карбонатами кальция,
   в) гумусированностью почвы,
   г) осолонцеванием,
   д) величиной кислотности.
5. *Какую роль играют пожары в эволюции черноземов*?
   а) вызывают сукцессии биоты,
   б) способствуют подщелачиванию реакции почв,
   в) приводят к осолонцеванию черноземов,
   г) вызывают физическую (термическую) деградацию почв,
   д) усиливают водную миграцию гуматов и фульватов натрия.
6. *В чем заключаются причины засоления черноземов*?

а) близкое залегание засоленных почвообразующих пород,
б) периодические пожары и образование слоя золы,
в) «чистые пары»,
г) комплексное проявление указанных выше факторов.

7. *Какая географическая зона южнее сменяет лесостепь*?

а) подтайга,
б) сухая степь,
в) полупустыня,
г) степь,
д) саванна.

8. *В чем суть процесса черноземообразования*?
а) в формировании почвенной кислотности,
б) в образовании структуры почвы,
в) в формировании гумусового профиля при избытке ионов кальция,
г) в водной миграции веществ.
9. *Почему при осолонцевании наблюдается резкое подщелачивание водной вытяжки черноземов?*
а) аккумулируются соли,
б) наблюдается пептизация коллоидов ионами натрия и вытеснение ионов кальция их поглощающего комплекса,
в) происходит деградация молекул гумусовых веществ,
г) отмечается активизация микрофлоры.
10. *В чем причина активной водной эрозии черноземов Среднего Поволжья*?
а) много речных долин и супесчаный гранулометрический состав почв,
б) черноземы слабо насыщены обменным кальцием,
в) происходит деградация гумуса и разрушение структуры почв,
г) это комплексный почвенно-геологический процесс.
11. *Чем отличается лугово-черноземная почва от чернозема выщелоченного?*
а) мощностью профиля,
б) залеганием в рельефе,
в) близким залеганием уровня грунтовых вод,
г) оглеением.
12. *По каким признакам черноземы выщелоченные отличаются от черноземов солонцеватых?*
а) мощностью гумусового горизонта,
б) наличием в мелкоземе ионов натрия,
в) содержанием гумуса,
г) наличием плужной «подошвы».
13. *На какой глубине засоленные породы могут оказывать влияние на гумусовые горизонты черноземов?*
а) 5 м,
б) 4 м,
в) 3 м,
г) 1,5 м
д) менее 3 м.
14. *Какую роль играют катионы Na^+ при взаимодействии с гумусовыми веществами черноземов?*
а) постепенно приводят к осолонцеванию,
б) вызывают слитость почвы,
в) вызывают дегумификацию,
г) в течение длительного периода изменяют морфологию,
д) резко ухудшают фильтрацию растворов.

15.*Тяжелые сельскохозяйственные машины способствуют формированию плужной «подошвы» в профиле; объясните ее негативные особенности:*
а) вызывает оглеение данного горизонта чернозема,
б) ухудшает аэрацию и развитие растений,
в) тормозит распространение корней вглубь почвы,
г) усиливает карбонатность.
16. *В чем заключается современная эволюция черноземов Среднего Поволжья?*
а) деградации гумусовых веществ,
б) эрозии почв,
в) засолении профилей черноземов,
г) осолонцевании.
17. *Какие антропогенные факторы влияют на эволюцию черноземов*?
а) усиливающаяся аридизация климата в Среднем Поволжье,
б) импульверизация солей из Средней Азии, Колмыкии и Астраханской области,
в) большие площади под «чистыми» парами,
г) нарушение соотношения площадей пашни, сенокосов, лесов и залежи.
18. *Какую экологическую роль играют в севооборотах на черноземах посевы многолетних трав?*
а) улучшают и сохраняют структуру черноземов,
б) стабилизируют гумусовое состояние,
в) активизируют биологическую активность черноземов,
г) резко снижают эрозию на склонах.
19. *Почему в ландшафтах Среднего Поволжья среди черноземов выщелоченных и обыкновенных встречаются почвы солонцового ряда?*
а) из-за близкого залегания засоленных пород,
б) из-за изменения водного режима,
в) из-за ярко выраженного микрорельефа,
г) вследствие активной антропогенной нагрузки.
20. *Какую роль играют легкорастворимые соли в эволюции черноземов?*
а) способствуют засолению профиля черноземов,
б) изменению соотношения катионов кальция и натрия,
в) резкому ухудшению роста и развития культурных растений вследствие потери влаги через корневые системы в засоленных горизонтах,
г) способствуют активизации водной миграции гумусовых веществ в форме натриевых солей в сезоны дождей.
21. *Почему в ландшафтах Среднего Поволжья активна водная эрозия*?
а) большие площади черноземов распаханы, а в севооборотах доля занятых паров и сенокосов очень незначительная,
б) эрозия имеет комплексную почвенно-геологическую природу, и не зависит от антропогенеза,
в) эрозия активизируется на речных террасах вследствие уничтожения не только древесно-кустарниковой растительности, но и перевыпаса скота,

г) важную роль при развитии эрозии играет выщелачивание катионов солей и просадки грунтов.

22. *Почему в плодородных почвах лесостепи - черноземах обыкновенных - отмечается дефицит доступных форм фосфора?*

а) сказывается насыщенность поглощающего комплекса чернозема катионами кальция,

б) возможно, имеются методические недоработки определения фосфора,

в) в почвах имеется дефицит доступных форм органического вещества,

г) снизилась биологическая активность черноземов.

23. *Что включает процесс черноземообразования*?

а) формирование группы гуминовых веществ,

б) формирование карбонатно-кальциевого барьера,

в) образование гумусового профиля черноземов,

г) формирование системы генетических горизонтов, свойственных черноземам.

24. *Где в лесостепных ландшафтах залегают лугово-черноземные почвы*?

а) на террасах рек,

б) в поймах рек,

в) в понижениях среди выщелоченных черноземов,

г) на плакорах.

25. *В системе ОВОС важно обоснованно характеризовать участки загрязнения черноземов, например, ионами тяжелыми металлами; где более активно они будут аккумулироваться*?

а) в лугово-черноземных почвах,

б) в черноземах обыкновенных,

в) аллювиальных дерновых почвах – в поймах рек,

г) в черноземах солонцеватых,

д) солонцах черноземных.

26. *Какие почвообразующие породы распространены в Среднем Поволжье?*

а) лессы,

б) лессовидные карбонатные суглинки,

в) покровные суглинки,

г) моренные каменистые суглинки,

д) древнеаллювиальные отложения.

27. *Какую роль играют почвообразующие и подстилающие породы при выборе участка под строительство при ОВОС?*

а) в качестве субстрата для фундамента,

б) водоупора,

в) сброса избытка влаги в период затяжных дождей.

Модуль 4
Характеристика барьеров миграции почв в системе ОВОС

Вы будете изучать:
- Типы почвенно-геохимических барьеров миграции,
- Особенности физико-химических барьеров миграции,
- Параметры оценки барьеров миграции,
- Деградацию барьеров миграции,
- Формы миграции химических элементов.

Цели модуля:
- Рассмотреть концепцию о барьерах миграции,
- Охарактеризовать особенности функционирования барьеров миграции,
- Объяснить расчет параметров миграции химических элементов,
- Уточнить формы миграции веществ в почвах,
- Рассмотреть причины деградации барьеров миграции.

После изучения модуля вы сможете:
- Знать почвенные барьеры миграции,
- Уметь диагностировать в почвах барьеры миграции,
- Уметь рассчитывать миграционные параметры веществ,
- Владеть методами оценки барьеров миграции.

Основная литература

1. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. - М.: МСХА. 2000. - 560 с.
2. Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Основы ландшафтоведения: эколого-геохимические аспекты. - М.: МСХА. 2004. - 212 с.
3.Глазовская М.А. Методологические основы эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. - М.: МГУ. 1997. - 127 с.
4. Израэль Ю.А., Черногаева Г.М. Состояние природной среды в Российской Федерации в конце 20-го столетия по данным полувекового мониторинга // В кн. «Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата (пределы изменений)». М.: Наука. 2001. С. 10-17.
5. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА. 2013. 183 с.

Дополнительная литература

1.Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Ландшафтоведение: лабораторный практикум. - М.: МСХА. 2004. - 75 с.

2.Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. - М.: ГЕОС. 2005. - 336 с.

3.Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. - М.: Наука. 1986. - 297 с.

4.Алексеенко В.А Экологическая геохимия. - М.: Логос. 2000. - 627 с.

Аннотация

В модуле 4 основное внимание уделено выявлению аномальных участков с критическими антропогенными нагрузками при эко-геохимического картографирования ландшафтов, оценке путей миграции и аккумуляции экотоксикантов *на почвенно-геохимических барьерах миграции.* Охарактеризованы физико-химические барьеры миграции и дан *прогноз развития экологической ситуации в некоторых ландшафтах тайги и лесостепи*. Отмечается, что диагностика концентрации *ксенобиотика в почвах, природных водах, кормах и продуктах питания – это только начальный этап его эко-геохимической оценки.* Необходимо уметь рассчитывать миграционные параметры ксенобиотиков, знать особенности их сорбции на барьерах миграции и включение в биогенный и абиотический потоки миграции. Понимать, что природные сорбенты (*прежде всего почвы наряду с растительностью*) – это защитный «экран» - основа качества жизни и экологической безопасности не только людей, но и Биосферы. В современный период этот экологический экран из сплошного (защитного) превратился в «мозаичный», неустойчивый и деградируемый.

4.1. Типы физико-химических барьеров миграции

Введение

В современных условиях ландшафты функционируют при интенсивных и масштабных антропогенных нагрузках. Потоки ксенобиотиков поступают в ландшафты в виде жидких, твердых и газообразных продуктов. Их взаимодействие с нативными веществами экосистем может привести к формированию новых суперэкотоксикантов (например, хлорорганических соединений), в том числе и *неизвестных специалистам*. Так было, например, с *диоксинами, полихлорбифенил*ами и иными загрязнителями биосферы. Особенно масштабное и негативное воздействие испытывает почвенный покров вблизи *промышленных объектов, автострад, аэропортов, свалок, в поймах рек, а также в крупных городах*. Поэтому так нужна система ОВОС

Впервые о барьерах миграции почв писал Б.Б. Полынов. Впоследствии это научное направление было разработано А.И. Перельманом (1974) и его учеником В.А. Алексеенко (2000). В Тимирязевской академии барьеры миграции изучали специалисты научной школы И.С. Кауричева: А.Д. Фокин, А.И. Карпухин и И.М. Яшин (2009, 2013).

Таксономия и оценка барьеров миграции

Выделяют два типа барьеров: *природные и техногенные*. Среди первых диагностируют три класса: механические, физико-химические и биогеохимические (А.И. Перельман, 1975). Подобной таксономии придерживаются и авторы настоящего пособия.

Механические барьеры ─ это участки почв и ландшафтов резкого уменьшения интенсивности переноса какого-то субстрата ветром или водой без радикального изменения их форм миграции и химического состава. Так образуются наносы почвенного мелкозема у изгороди при пыльных бурях в полупустынях и сухостепной зоне.

В чем состоит своеобразие биогеохимических барьеров миграции

Биогеохимические барьеры формируются на территориях, занятых биотой, например хвойным лесом. На этом барьере химические элементы не только аккумулируются, но и радикально изменяют форму миграции и свойства за счёт реакций комплексообразования, сорбции, полимеризации и других. Так, в частности, в экосистемах образуются генетические горизонты и профили почв, система специфических гумусовых соединений, сорбционно закрепленных на почвенной матрице. Сорбция в ландшафтах играет уникальную роль, поскольку ей противостоит *мощный природный механизм рассеивания в пространстве веществ, энергии и информации*.

Физико-химические барьеры включают обширный класс барьеров, формирование которых связано с резким изменением *физико-химических условий миграции* химических элементов как по вертикали, так и в пространстве на коротких расстояниях. В последнем случае, как правило, имеют ввиду латеральные - *площадные (или пространственные) барьеры*, образующиеся, в частности, по окрайкам болот или у «подошвы» склона мореного увала. В этом случае наблюдается резкий типовой переход почв: на склоне в еловом лесу (на морене) развиты сильноподзолистые среднесуглинистые почвы, а у подошвы - перегнойно-глеевые (или торфяные подзолисто-глеевые) аналоги с близким уровнем залегания грунтовых вод. Экотоны, например, и являются площадными барьерами.

Радиальные (или вертикальные) барьеры залегают в профилях почв, пород и корах выветривания. Такие барьеры являются зонами накопления и осаждения различных экотоксикантов из миграционного потока в почвах, а также в почвообразующих и подстилающих породах.

Какие физико-химические барьеры миграции формируются в ландшафтах

Известны и изучены следующие *физико-химические барьеры*:

1. кислородный,
2. глеевый (в т.ч. и сероводородный),
3. щелочной,
4. кислый (кислотный),
5. испарительный
6. сорбционный (органогенный, карбонатный, органоминеральный),
7. солевой.
8. есть также комплексные барьеры миграции.

Кислородные барьеры очень широко распространены в ландшафтах Земли, образуясь вновь и вновь в местах разгрузки так называемых «глеевых вод» на участках, богатых свободным O_2. Из металлов осаждаются Fe и Mn. Кроме указанных элементов здесь аккумулируются также *сера и селен*, в частности, в местах выхода сероводородных вод. Одним из таких уникальных мест на Северном Кавказе является гора Машук и «Провал» на южном склоне горы, где в виде огромной «лужи» скопилась сероводородная кислота естественного генезиса. Вблизи подобного *сероводородного источника* заметны новообразования серы в виде её самородной формы, являющейся

антисептиком. H_2S может находиться и в растворе, и в газовой фазе. H_2S – яд. Кстати, на горе Машук (как и в г. Баден, Австрия) подобных горячих сероводородных и *радоновых источников* достаточно много. Они используются (как и гидротроиллитовые грязи озера Тамбуканское, вблизи г. Пятигорска) при лечении радикулита, остеохондроза и иных болезней суставов. Наличие радона указывает на высокую радиоактивность недр.

Сероводородный (глеевый) барьер образуется в восстановительной почвенно-геохимической обстановке при наличии источников серы и углерода. В глубинах Земли при $t^o \geq 150^oC$ в породах и газах, содержащих CH_4 и сульфаты, возможно образованные H_2S по схеме: $CH_4 + SO_4^{2-} + 2H^+ \rightarrow CO_2 + 2H_2O + H_2S$. Однако гораздо большее значение в образовании H_2S имеет деятельность сульфатредуцирующих бактерий:

$$C_6H_{12}O_6 + Na_2SO_4 \rightarrow 3Na_2CO_3 + 3H_2O + + 3CO_2 + 3H_2S + Q\uparrow \qquad (2)$$

Формирование H_2S сопровождается активным осадкообразованием Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Cd, Ag, Hg, Sb, Bi, Mo. Железо и марганец в водных растворах образуют с сероводородом труднорастворимые осадки черного цвета. *Сероводородные* барьеры ярко выражены в дельтах северных рек, впадающих в морские бассейны: Северной Двины, Мезени, Кулоя, Печоры, Оби, Енисея, по побережьям которых формируются своеобразные маршевые почвы и солончаки. На них произрастает треста, триостренник, солянки.

Глеевые барьеры (без участия H_2S). Возникают на участках интенсивного разложения растительных остатков и ВОВ без соединений серы и без доступа молекулярного O_2. *Показателем глеевой обстановки обычно являются очень низкие величины окислительно-восстановительного потенциала (Eh)*, большие концентрации ВОВ, наличие свободных H_2 и CH_4, а также закисные формы Fe^{2+} и Mn^{2+}, которые с полифенолами образуют *почти чёрные растворы*, мигрирующие из гор. A_o и временно прокрашивающие минеральный субстрат под лесной подстилкой в темно-серый цвет.

Какую окраску имеют глеевые горизонты почв

Глеевые горизонты почв и пород имеют *белёсую, сизую, голубовато-белесую, зеленую и ржаво-серую окраску* (Ю.В. Водяницкий, 2005). При окислении глеевых вод в местах их разгрузки (например, в ландшафтах курорта «Марциальные воды» Карелии, *к северу от Петрозаводска*, где подобные воды на слабо выраженной озёрной террасе выходят у «подошвы» сельг на поверхность) отмечается интенсивное окисление ионов Fe^{2+}, образование бурых *коллоидных систем* $Fe(OH)_3$ и их выпадение в осадок. Через 12 часов стояния (при нагревании и быстрее) такая природная вода буквально «насыщается» бурыми мелкими хлопьями *гидрозоля гидроксида Fe*, являющегося весьма ёмким сорбентом для многих анионов (фульвокислот, PO_4^{3-}), ионов металлов и микроорганизмов.

На глеевых барьерах (например, концентрические «окрайки» болот) ─ на гидрозолях $Fe(OH)_3$ ─ осаждаются Cu, Mo, U, Ag, Cr, V, As. Глеевые

барьеры, как правило, *являются двусторонними*, а в краевых частях болот находятся *комплексные барьеры*: кислый, сорбционный, глеевый и биогеохимический. В этих барьерах локально («гнездами») отмечается сегрегация соединений железа, марганца в конкреции и примазки , в которых аккумулируются молекулы фульвокислот. Поэтому диагностика ТМ на барьерах миграции должна учитывать их сегрегацию в конкреции; *соответственно и отбор проб почвы должен быть индивидуальным: отдельно субстрат с конкрециями и отдельно мелкозем почвы.*

Щелочные барьеры образуются на участках ландшафта, где реакция среды скачкообразно изменяется от кислой (pH = 4,1-5,0) до щелочной (pH ≥ 7,9). В этих условиях из водных растворов осаждаются многие вещества, относящиеся к карбонатам, гидроксидам металлов, фосфатам, арсенатам и ваданатам. *На карбонатных щелочных барьерах* (в донных осадках озера Лача, в частности, вблизи г. Каргополя Архангельской области), наблюдается осаждение катионов Fe^{2+}, Mn^{2+}, Pb^{2+}, Zn^{2}, Cu^{2+}, Cd^{2+} и многих других ионов металлов, а также компонентов ВОВ. Привнос частиц почвенного мелкозёма плодородных дерново-карбонатных почв (при вековой эрозии) способствовал формированию в озере мощных слоев сапропеля (1 и более метров); поскольку он обогащён Ca^{2+} и гумусовыми веществами, его нужно использовать как удобрение, одновременно очищая и дно озера. Улучшается качество природных вод, углубляется фарватер для судоходства и больше становится фитопланктона – корма для рыб.

Кислый геохимический барьер диагностируется при резкой смене реакции среды от слабощелочной до кислой. На подобных барьерах осаждаются анионные мигранты: Si, Ge, Mo, As, Se, V, U. Сочетание кислого и восстановительного (глеевого) барьеров может возникнуть за счет жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий при наличии доступных форм органических веществ, например, мигрируемых ВОВ. Такие барьеры весьма сорбционно активны: здесь накапливаются ан*ионы кремния, молибдена и урана.*

Испарительный барьер возникает при интенсивном зимнем и летнем испарении почвенных растворов особенно в степных, сухостепных и пустынных ландшафтах. Подобные барьеры способствуют вторичному засолению почв, при близком залегании грунтовых вод, что крайне негативно сказывается на развитии культурных растений. Масштабы вертикальной восходящей миграции водорастворимых солей в аридных почвах можно изучить с помощью метода сорбционных лизиметров.

Что представляют собой сорбционные барьеры

Сорбционные барьеры относятся к наиболее распространённым горизонтам в почвах и ландшафтах. Они формируются на участках почв, пород, донных осадков, где водные или газовые миграционные потоки встречаются с природными сорбентами: доломитами, глинами, коллоидами

Fe, Mn, Si и другими. На формирование таких барьеров большое влияние оказывают *гумусовые соединения и вторичные минералы* ─ каолинит и монтмориллонит. Активными сорбентами в почвах являются коллоиды Fe, Mn, Si, Cr. *Коллоиды гидроксида Fe*, например, сорбируют *As, V, P, Sb, Se*; а $Mn(OH)_2$ ─ *Ni, Co, K, Ba, Cu, Zn, Gh, Au, W*; коллоиды кремния ─ радиоактивные элементы; известняки и доломиты ─ *Pb, Zn, Sr*.

Глинистые минералы сорбируют ионы металлов лучше в слабощелочной среде, чем в кислой. Поэтому в чернозёмах и дерновых почвах ТМ сорбируются более полно и прочно. Впоследствии ТМ активно загрязняют сорбционно-геохимические барьеры почв: *органогенный (гор. O^T), органо-минеральный (гор. A_1), минеральный (В и другие нижележащие горизонты почв), карбонатно-кальциевый, сульфидный, фосфатный*. Указанные барьеры миграции становятся источниками загрязнения сельскохозяйственной продукции и поверхностных природных вод. Поэтому в настоящее время наряду с *уровнем эффективного плодородия важно установить степень химического загрязнения почв и их барьеров миграции*.

Тем более важно проводить мониторинг содержания ТМ при ОВОС. Кроме качественной (эколого-химической) важна и *количественная* оценка барьеров миграции.

4.2. Параметры оценки почвенных барьеров миграции и их значение в системе ОВОС

Градиент барьера (G) ─ показатель, характеризующий особенности сорбции вещества в миграционном потоке (восходяще-нисходящем, боковом…) на барьере миграции (А.И. Перельман, 1975). Для расчёта величины G, например, для элювиального горизонта EL в подзолистой среднесуглинистой почве, необходимо знать *мигрируемую массу изучаемого вещества* (фульвокислот, Fe ─ ФК комплексных соединений) до и после барьера (в нашем примере ─ гор. EL имеет мощность l = 25 см). Учёт масс мигранта проводят с помощью метода сорбционных лизиметров (МСЛ) ─ колонки с приёмниками лизиметрических вод устанавливают на «входе» и на «выходе» мигранта из барьера.

Величину G определяют по выражению**:** $\boldsymbol{G = (m_1 - m_2)/l}$ *(3)*

Напомним, что для компонентов ВОВ гор. EL (подзолистый) является химически слабо активным барьером. Если m_1 ─ миграционная масса ВОВ перед барьером (допустим, 50 г/м^2·год$^{-1}$), а после барьера 63 г/м^2·год$^{-1}$. Тогда получим: G = ─ 13 г/м^2/0,25 м = ─ 53 г/м^3·год$^{-1}$. Знак **минус G** означает, что вместо сорбции на барьере (горизонт EL) происходит какая-то дополнительная мобилизация в раствор компонентов ВОВ и их активный вынос. Подобным образом, кстати, обнаруживаются в природных водах различные экотоксиканты *давным-давно попавшие в почву*, но сорбционно удерживаемые ею. Это характерно, в частности, для радионуклидов (^{90}Sr, ^{137}Cs…), основным механизмом миграции которых, по-видимому, является диффузия (Яшин И.М., 2013).

Как рассчитать массу мигранта, которая задерживается на сорбционном барьере миграции

Для расчета задерживаемой массы мигранта на барьере эмпирическим путём используют следующее выражение:

$$h = k_{моб}\,(C_1 - C_2)/(\alpha_1 - \alpha_2)/l \qquad (4),$$

где: l ─ мощность барьера (м),

$k_{моб}$ ─ коэффициент мобилизации (безразмерная величина) химического элемента из сложного (труднорастворимого) химического соединения в раствор; C_1 и C_2 ─ концентрации изучаемых элементов до и после барьера (целесообразно рассчитывать массу мигранта, а не концентрацию ─ И.Я.); α_1 и α_2 ─ сухой остаток аликвотов лизиметрических вод до и после барьера (%, г/л).

В расчетах следует обратить внимание на сопоставимость единиц измерения.

Пример. $k_{моб}$ $C_{орг}$ *ВОВ* для хвойного опада в почвах подзолистого типа Подмосковья равен 5%; C_1 и C_2 ─ соответственно полученные с помощью МСЛ - 21 и 3 г/м^2·год$^{-1}$; l = 25 см; α_1 и α_2 ─ соответственно 0,25 и 0,15%. Подставив указанные опытные данные в выражение для расчета h, получим:

$$h = 5 \cdot \frac{21-3}{(0{,}25-0{,}15)\cdot 0{,}25м} = 90\ г/м^2 \cdot год^{-1}/0{,}025\ м = 3600\ г/м^3 \cdot год^{-1} \qquad (5)$$

Расчёты показывают, что в данном случае (горизонт A_1) ─ это очень активный органоминеральный сорбционный барьер.

В таёжных ландшафтах природные и лизиметрические (почвенные) воды, как правило, ультрапресные по уровню минерализации, но сильно обогащены мобильными формами гумусовых соединений (ГС) ─ ВОВ.

Поэтому разнообразные по молекулярно-массовому составу и физико-химическим свойствам органические и органоминеральные соединения играют чрезвычайно важную и уникальную роль в формировании почв и биоты тайги, их эволюции, перераспределении в профилях продуктов почвообразования и экотоксикантов, в частности ТМ (Pb, Cd, Be, Zn, Hg, Cu); выполняют своеобразные экологические функции в ландшафтах (И.М. Яшин, 1973, 1993, 2004, 2013).

Контрастность барьера $k_б$ рассчитывают, используя следующее выражение:

$$k_б = C_i/C_{фон} \qquad (6)$$

где C_i ─ реальное содержание мигранта в массе барьера (%, моль) и $C_{фон}$ ─ фоновое содержание (или *Кларк*) изучаемого элемента (вещества), %.

Например, содержание мобильных форм свинца в гор. О^{тп} составило 0,11%, а Кларк Pb в коре выветривания составляет $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ %.

Отсюда $k_б$ = 0,11/0,016 = **68,8**. Таким образом, несмотря на низкие концентрации ионов Pb^{2+} в почвенных растворах таежных ландшафтов, данный элемент в ионной форме *очень активно накапливается на некоторых сорбционных барьерах.* Пренебрегать низкими величинами экотоксикантов в ландшафтах и почвах нельзя. Следует организовать стационарные наблюдения за миграцией экотоксиканта в режиме мониторинга.

Что такое комплексные барьеры миграции

Комплексные барьеры миграции наиболее широко распространены в ландшафтах земного шара. С этими барьерами связаны максимальные по динамике изменения форм миграции веществ. Например, в Чёрном и Красном морях на глубинах 150-200 м начинается *сероводородный барьер:* здесь нет биоты. В Красном море на дне отложились сульфидные полиметаллические рудные отложения **Pb, Cu, Zn**. Глубинные металлоносные рассолы, поднимающиеся по трещинам горных пород вверх, претерпевают трансформацию на кислородном барьере (в поверхностных слоях моря): закисное Fe(II) окисляется и переходит в Fe^{3+} с последующим образованием коллоидных частиц $Fe(OH)_3\downarrow$.

Какие известны еще параметры оценки барьеров миграции

Другими важным показателем активности мигрантов является их *интенсивность миграции* P_x. Она отражает количество вещества (моль, г), мигрирующее за определенный промежуток опыта (месяц, сезон, год) через заданную площадь сечения или точнее объём почвенно-геохимического барьера. Рассчитывается P_x по выражению:

$P_x = db/dt$ или $P_x = (b_2 - b_1)/(t_2 - t_1)$ (7)

Данное выражение без учёта общей массы (валовой) формы мигранта отражает параметр P_x как скорость мобилизации элемента из твердой фазы в раствор. Если теперь величину *db/dt* разделить на массу химического элемента в форме оксида (валовое содержание) или его Кларк в коре выветривания (%), то получим следующее выражение:

$$P_x = \frac{1}{b_x} \cdot \frac{db}{dt} \qquad (8)$$

Приняв db/dbx за U (*импульс миграции*), найдем:

$P_x = U/dt$ (9)

Выражение db/dbx — это приращение небольшой мобильной массы мигранта к валовой на расчетной площади (в принципе, это соотношение масс мигранта в жидкой и твердой фазах). По смыслу оно подобно $k_{моб}$.

Из выражения $P_x = U/dt$ можно найти значение импульса миграции $dU = P_x \cdot dt$. *Импульс миграции — это плотность потока мигранта* (модуль потока) за конкретный промежуток стационарного опыта через заданную (расчетную) площадь ($м^2$) почвы.

Поскольку dU = db/dbx·dt, то взяв определенный интеграл, получим:

$$dU = \int_{b_1}^{b_2} \frac{db}{dbx_o} \int_{o}^{t} dt = \ln \frac{b_2}{b_1} \cdot t^{-1} \qquad (10)$$

После преобразования найдем вид функции: это восходящая экспонента-

$$\boldsymbol{b_2 = b_1 \cdot \exp(U) = b_1 \cdot \exp[P_x(t_2 - t_1)]} \qquad (11)$$

Пример. В результате техногенного загрязнения одной из агроэкосистем Подмосковья с дерново-подзолистыми почвами в гор. A_{max} содержание мобильной формы меди (Cu-R, $CuCl_2$) за 1 год достигло экологически опасного уровня ─ 2%, а Кларк меди в коре выветривания - $4{,}5 \cdot 10^{-3}$%. Отсюда:

$$\mathbf{U = \ln b_2/b_1 = \ln 2 - \ln 4{,}5 \cdot 10^{-3} = 0{,}693 - (-5{,}404) = 6{,}1} \qquad (12)$$

Величина $\ln b_1$ не изменяется, поскольку $\ln t$ (1 год) равен нулю.

Таким образом, *импульс миграции* ионов Cu^{2+} в гор. $A_{пах}$ довольно значительный.

Факторы, определяющие трансформацию и миграцию веществ на барьерах миграции

Деградация физико-химических барьеров происходит вследствие совместного действия внешних и внутренних факторов. Эти факторы, определяющие трансформацию и миграцию веществ, можно обобщить в *три группы условий:*

1-я группа ─ условия, влияющие на накопление и передвижение носителя (воды) в почвах и грунтах. Например, необоснованное осушение больших массивов болот в Шатурском районе Подмосковья вызвало резкое обеднение ландшафтов поверхностными водами, что привело к масштабным и трудно ликвидируемым пожарам. В результате мощные торфяники после пожаров превращаются в песчаные *пирогенные почвы*, а органогенный биогеохимический барьер полностью уничтожается; накопленные экотоксиканты (диоксины и другие) включаются в миграционные водные и воздушные потоки. Огромные массы дыма, пыли и сажи достигают г. Москвы, вызывая не только дискомфорт, но и экологические заболевания людей.

2-я группа ─ условия, определяющие химический и минералогический состав почвенно-грунтовой толщи, включая поступающие продукты антропогенного воздействия (удобрения, пестициды, вещества техногенного загрязнения).

3-я группа ─ условия, определяющие свойства и режимы почв. Они влияют на подвижность и мобилизацию ионов металлов и веществ из компонентов почвы, а также поступающие в нее чуждые вещества ─ экотоксиканты.

Первая группа условий предусматривает оценку, с одной стороны, климатических параметров региона и их влияние на увлажнение территории (количество осадков, их режим, мощность снегового покрова, режим

снеготаяния, коэффициента увлажнения - КУ), а с другой ─ учет комплекса конкретных локальных факторов, определяющих водопроницаемость и водоподъемную способность почв (как миграционного барьера), а также поверхностный сток: гранулометрический состав, мощность гумусового слоя, почво-грунтов, условия рельефа и наличие растительности.

Для примера *сопоставим условия миграции* на покатом склоне мореного увала (при различном гранулометрическом составе почвенно-грунтовой толщи): в одном случае ─ это мощные покровные тяжелые суглинки, в другом ─ флювиогляциальные крупнозернистые супеси на песках или флювиогляциальные песчано-супесчаные отложения мощностью до 60 см на суглинистой морене. Здесь наблюдаются существенные различия в абиогенной миграции веществ из-за неоднозначных процессов поверхностной эрозии, внутрипочвенного и латерального потоков, а также механизмов инфильтрации. На мореном увале будет преобладать *поверхностный (эрозионный) сток* практически без измерения химического состава и свойств мигрантов. В песчано-супесчаном субстрате ─ внутрипочвенный (боковой) вынос веществ с радикальной химической трансформацией молекулярно-массового состава ВОВ, изменением свойств и форм миграции в частности, ионов металлов: Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}. Рассматривая первую группу внешних условий, необходимо оценить дифференциацию ландшафтов в связи с их конкретной гидрологической характеристикой, прежде всего *с состоянием зоны выщелачивания.*

Что такое «зона выщелачивания» веществ

Зона выщелачивания ─ это часть вертикального профиля почв ландшафта, в которой вещества перемещаются под влиянием силы тяжести и кинетической энергии масс атмосферных осадков, достигших поверхности почвы. Возможны следующие варианты и характеристика зон выщелачивания:

1) *Выщелачивание мигрантов происходит* до грунтовых вод, которые сопряжены с верхней толщей геохимического профиля ландшафта. Зона выщелачивания этого вида свойственна супер-аквальным (пойменным) ландшафтам. Здесь продукты водной миграции достигают грунтовых вод с возможными их загрязнением и выносом далее за пределы пойменного ландшафта в морские и речные бассейны;

2) *Выщелачивание веществ* наблюдается глубже границы распространения корней, но не достигает грунтовых вод (элювиальный ландшафт тайги); здесь типична восходяще-нисходящая пульсация мигрантов;

3) *Поверхностно-элювиальная* зона выщелачивания веществ отличается тем, что атмосферная влага не проникает глубже корнеобитаемого слоя (20-40 см), что наблюдается в полупустынных и пустынных ландшафтах (при КУ << 1,0).

4) Зона выщелачивания веществ, формирующихся в условиях мерзлотных элювиальных ландшафтов.

Разработка *экологических критериев деградации* гумусовых соединений и нормирование техногенных нагрузок на почвы и другие компоненты агроландшафтов ─ сложные и актуальные проблемы. Они обусловлены негативными результатами часто необоснованного, а нередко и агрессивного техногенного воздействия на компоненты биосферы ─ почву, растительность, природные воды.

Почему происходит деградация гумусовых веществ почв?

Процесс деградации ГС (органоминерального почвенного барьера) ─ это совокупность различных по природе и направленности реакций, протекающих в генетических горизонтах конкретной почвы, в ответ на целенаправленное (или неосмотрительное) воздействие тех или иных продуктов техногенеза (легкорастворимых солей, кислот, щелочей и других соединений), приводящее не только к изменению состава, свойств и структуры ГС, но и трансформации их некоторых функций в почве. Когда уничтожается естественная растительность и распахиваются целинные почвы, наблюдается резкое изменение биогенного круговорота веществ (его емкость), гидротермического режима и состава групп живых организмов в экосистемах различных географических зон Земли, что обусловливает прежде всего изменение биогеохимического цикла углеродсодержащих соединений в системе: жидкие водорастворимые органические вещества (ВОВ) ↔ газообразные (CO_2, CH_4 и др.) ↔ твердые продукты (ГС).

Нами выделены две группы макропроцессов, определяющих особенности деградации гумуса: *внешние и внутренние*. *Внешние* ─ действие солнечной радиации (в виде энергии ─ лучистой и тепловой), атмосферных газов и сопутствующих веществ, которые при контакте с атмосферной влагой, превращаются в агрессивные химические продукты («кислотные дожди»), кинетическое воздействие латеральных потоков воды, воздуха, а также воздействие льда, вызывающих как пространственное перемещение и перераспределение мелкозема в пределах макро- и мезорельефа, так и внутригоризонтные (почвенные) превращения высокомолекулярных и коллоидных структур и их «очистку» от минеральных солей, и, наконец, непосредственное тепловое влияние Солнца, особенно на не защищенную растениями поверхность почв и почвенного покрова (Яшин И.М., Черников В.А., 1998).

Своеобразное химическое влияние на ГС оказывают легкорастворимые минеральные удобрения (активные химические электролиты) и различные мелиоранты ─ фосфогипс, фосфорит и известковые материалы. А.Ю. Кудеяровой (1991), например, установлено, что *высокие дозы ортофосфатов*, вносимые в дерново-подзолистую почву, способствуют заметной мобилизации в раствор мобильных форм ГС и их миграции в

генетическом горизонте ($А_{пах}$). Однако механизмы таких взаимодействий и особенности трансформации удобрений и мелиорантов с участием ВОВ, солей и других соединений остаются экспериментально слабо обоснованными.

Критерии и параметры диагностики гумусового состояния почв охарактеризованы и совершенствуются лишь в последние годы 20-го столетия (Д.С. Орлов, 1974, 1988; Л.А. Гришина, 1986; Р. Тейт, 1991; И.М. Яшин, 2005).

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите условия, обусловливающие деградацию барьеров миграции.
2. В каких условиях формируются сероводородные барьеры?
3. Какие факторы способствуют деградации гумусовых веществ на барьерах миграции?
4. Какую роль играет оглеение в деградации веществ барьеров миграции, например, иллювиально-железистого горизонта?
5. Какое химическое воздействие оказывают легкорастворимые соли на почвенные минералы и гумусовые вещества черноземов?
6. Как рассчитывается градиент барьера миграции?
7. Что такое импульс миграции и как он рассчитывается?
8. Что такое контрастность барьера миграции?
9. Что такое «интенсивность» барьера миграции?
10. Объясните значение концепции о барьерах миграции.
11. Кто из специалистов предложил учение о сорбционных барьерах?
12. Охарактеризуйте особенности сульфидного барьера миграции.
13. В каком случае параметр барьера миграции может иметь отрицательное значение?
14. Назовите виды сорбционных барьеров миграции.
15. Где в таежном ландшафте располагаются солевые барьеры миграции? Какая взаимосвязь существует между солевым и испарительным барьерами миграции?
16. Перечислите физико-химические барьеры миграции.
17. Какие виды сорбционных барьеров Вы можете назвать в подзолистой среднесуглинистой почвы под ельником-черничником?
18. Где формируются глеевые барьеры миграции?

Тест-задания к модулю 4.

1. *Отметьте характерные типы почвенных барьеров миграции*.

а) органогенный барьер,
б) физический барьер,
в) физико-химические барьеры,
г) механические барьеры.

2. *Какие реакции протекают на физико-химическом сорбционном барьере в почвах*?

а) растворение веществ,
б) миграция веществ,
в) сорбция (поглощение) мигрантов из водного раствора,
г) сорбция – десорбция веществ в системе твердая фаза - почвенный раствор.

3. *Отметьте механический барьер миграции в ландшафтах*:
а) лесополоса с кучей мелкозема, привнесенной пыльной бурей,
б) центральная пойма реки с лугом и дерновой почвой,
в) автомагистраль с небольшим наносом снега (40 $м^3$),
г) магистральный оросительный канал.

4. *В каких почвах тайги формируются глеевые барьеры миграции*?
а) дерново-карбонатных выщелоченных «Каргопольской суши»,
б) дерново-перегнойных почвах межувалистых понижений,
в) в торфяниках,
г) в пойменных слоистых почвах прирусловой поймы реки.

5. *Отметьте техногенный барьер миграции*:
а) водохранилище,
б) карьер,
в) терриконы,
г) стартовая площадка космодрома.

6. *В каких почвах образуется испарительный барьер миграции*?
а) в пойменных,
б) в насыпных почвах городских скверов,
в) в солонцах и солончаках,
г) в подзолах на боровых террасах.

7. *Какую экологическую роль играют барьеры миграции*?
а) задерживают мигранты в почве,
б) задерживают экотоксиканты,
в) предохраняют природные воды от загрязнения,
г) накапливаясь в верхних горизонтах, экотоксиканты загрязняют продукцию растениеводства.

8. *Какие виды сорбционных барьеров можно выделить в лесной подзолистой почве*?
а) органогенный,
б) органоминеральный,
в) минеральный,
г) глеевый.

9. *В каких почвах может находится солевой барьер миграции?*
а) в маршевых почвах приморских ландшафтов,
б) в болотных почвах,
в) в солонцах и солончаках,
г) в каштановых.

10. *По каким параметрам можно количественно оценить барьер миграции*?
а) по скорости фильтрации воды,
б) по изменению концентрации веществ – мигрантов,

в) по изменению окислительно-восстановительной обстановки,
г) по математическим выражениям: градиент барьера, коэффициент миграции и др.

11. *Перечислите формы миграции веществ на почвенных барьерах миграции черноземов*:
а) коллоиды,
б) тонкодисперсные взвеси,
в) водорастворимые органоминеральные комплексные соединения,
г) катионы и анионы легкорастворимых солей.

12. *К какому типу барьеров миграции относится пойма крупных рек?*
а) площадному барьеру,
б) латеральному барьеру,
в) двухстороннему барьеру,
г) комплексному барьеру миграции.

13. *Почему при изучении барьеров миграции широко применяют метод сорбционных лизиметров*?
а) метод более удобен в сравнении со стационарными лизиметрами,
б) изучать можно почвы и ландшафты удаленных территорий,
в) метод экономически оправдан,
г) овладение этим методом позволяет углубить понимание целого ряда вопросов геохимии, почвоведения и экологии.

14. *Объясните, какое влияние на черноземы могут оказать легкорастворимые соли?*
а) усилить почвенную кислотность,
б) усилить щелочность,
в) вызвать пептизацию коллоидов,
г) вызвать щелочной гидролиз гуминовых веществ, десорбцию ионов кальция и водную миграции гуматов и фульватов натрия в профилях почв в период дождей.

15. *Укажите экологические причины появления в верхних горизонтах черноземов лесостепной зоны легкорастворимых солей*:
а) засухи и пожары,
б) восходящие пленочно-капиллярные потоки солей,
в) внесение минеральных удобрений,
г) некапильное орошение культур высокоминерализованными водами.

16. *Какие реакции и процессы наблюдаются при оглеении подзолистых почв?*
а) активная водная миграция веществ,
б) активная мобилизация химических элементов в раствор из твердой фазы,
в) формирование мобильных ВОВ,
г) образование закисных форм железа, марганца.

17. *К чему приводит активизация подзолообразования на барьерах миграции почв в таежной зоне*?
а) к лессиважу,
б) ферролизу минералов,
в) оглеению мелкозема,

г) кислотному гидролизу, формированию мобильных комплексных соединений и активной миграции веществ: трансформации барьеров.

18. *При оценке почв и пород на строительной площадке (в системе ОВОС), какую роль играют барьеры миграции?*

а) роль защитного экрана от токсикантов,

б) роль водоупора,

в) роль маркера,

г) роль стационарной площадки.

19. *Где предпочтительнее выбрать строительную площадку при возведении производственного объекта*?

а) в пойме реки, где будет близко русло реки,

б) на склоне увала или речной террасе,

в) на обширном плакоре, оптимально удаленном от русла реки,

г) на бывшем осушенном болоте, где все еще аккумулируются мигранты.

20. *Какие строительные работы возможны в поймах крупных рек на дерновых почвах, развитых на мощном песчаном аллювии и близком залегании грунтовых вод?*

а) создание современных свалок (песок будет все фильтровать),

б) строительство жилья и спортивных сооружений,

в) в поймах рек ничего нельзя строить, кроме времянок на садово-огородных участках из-за возможного разлива рек и уничтожения любых построек,

г) в поймах рек можно выборочно пасти скот, организовывать садовые участки, выращивать овощи; вносить удобрения нужно осмотрительно.

21. *Объясните, почему в поймах крупных рек нельзя размешать свалки твердых бытовых отходов*?

а) из-за возможного химического загрязнения речных вод,

б) из-за возможного загрязнения почвенного покрова,

в) из-за утраты эстетического облика пойменных ландшафтов,

г) из-за быстрого разрушения барьеров миграции.

22. *Кто из ученых предложил учение о барьерах миграции*?

а) Полынов Б.Б.,

б) Перельман А.И.,

в) Кауричев И.С.,

г) Яшин И.М.

23. *Какие генетические горизонты (или профили) почв таежной зоны относятся к комплексным барьерам миграции*? Почему?

а) лесная подстилка,

б) гумусово-аккумулятивный горизонт,

в) иллювиально-гумусово-железистый горизонт,

г) почвообразующая порода – морена,

д) профиль подзолистой почвы под ельником – черничником.

24. *В чем отличие песчаного и суглинистого барьеров миграции в почвах таежной зоны?*

а) в емкости поглощения и кислотности,

б) в составе гумуса,

в) в миграции веществ и их аккумуляции,
г) в различной устойчивости субстратов.

25. *В каком типе почв одновременно присутствуют глеевый, органогенный и органоминеральный барьеры миграции*?
а) лесная дерново-подзолистая почва,
б) болотно-подзолистая супесчаная почва под редколесьем,
в) дерновая глеевая на заболоченном лугу,
г) торфяник на верховом болоте.

26. *В каких условиях формируются сероводородные глеевые барьеры миграции*?
а) в горных ландшафтах с массивно-кристаллическими породами,
б) в приморских ландшафтах и маршевых почвах,
в) в таежных ландшафтах с подзолами на речных террасах,
г) в озерах и морях, где есть засоленные породы и сульфаты.

27. *Почему в зоне тайги, на лесных вырубках, наблюдается активная деградация барьеров миграции, например, иллювиально-железистого горизонта*?
а) из-за резкого изменения водного режима и формирования больших масс ВОВ с кислотными свойствами,
б) вследствие водной миграции ВОВ с кислотными свойствами и их сорбции в деградируемом горизонте,
в) из-за увеличения кислотности,
г) из-за увеличения латеральной миграции ВОВ.

28. *Отметьте виды сорбционных барьеров миграции*:
а) органогенный,
б) органоминеральный,
в) солевой,
г) минеральный.

29. *Какая взаимосвязь существует между барьерами миграции и эволюцией почв в таежной зоне?*
а) миграционная,
б) антропогенная (рубки в лесах),
в) пожары,
г) ветровалы при ураганах.

Модуль 5
Методы инженерно-экологических изысканий при ОВОС

Вы будете изучать:
- Методы инженерно-экологических изысканий и экологического картографирования,
- Методы стационарных (режимных) наблюдений,
- Методы дистанционного зондирования ландшафтов,
- Методы биоиндикации,
- Методы диагностики загрязнения компонентов экосистем,
- Физико-химические методы,
- Хроматографический анализ сложных смесей веществ.

Цели модуля:
- Дать представление об экологическом картировании ландшафтов.
- Рассмотреть особенности эколого-геохимической оценки фаций.
- Обсудить процессы загрязнения экосистем экотоксикантами.
- Овладеть физико-химическими методами анализа .

После изучения модуля вы сможете:
- Диагностировать различные типы ландшафтов по их загрязнению экотоксикантами.
- Знать особенности методов стационарных исследований.
- Понимать методы биоиндикации и хроматографии.
- Применять результаты полевых и лабораторных изысканий при сравнительной диагностике загрязнения экосистем.

Основная литература

1. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. - М.: МСХА. 2000. - 560 с.
2. Яшин И.М., Раскатов В.А., Шишов Л.Л. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. - М.: МСХА. 2003. - 316 с.
3. Алексеенко В.А Экологическая геохимия. - М.: Логос. 2000. - 627 с.
4. Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Основы ландшафтоведения: эколого-геохимические аспекты. - М.: МСХА. 2004. - 212 с.
5. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА. 2013. 183 с.
6. Учебное пособие «Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях». Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. М.: МСХА. 1996. -144 с.
7. Sponagel H. u. a. Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, 2005, 438 s.

Дополнительная литература

1. Яшин И.М. глава «Методы экологических исследований» в учебнике «Агроэкология. Методология, технология, экономика». Ч. 2. Коллектив авторов – М.: КолосС, 2004.

2. Яшин И.М. Почвы северо-таёжных ландшафтов острова Большой Соловецкий Архангельской области // Сб. трудов конф., посвящ. 145-летию со дня рождения Н.М. Сибирцева. Архангельск. 2005. – С. 23-26.
3. Сает Ю.Е., Ревич Б.А. Эколого-геохимические подходы к разработке критериев нормативной оценки состояния городской среды // Известия АН СССР. Сер. география. 1988. № 4.
4. Яшин И.М., Кауричев И.С. Особенности процессов глее - и подзолообразования в почвах таежных экосистем // Известия ТСХА. 1996. Вып. 1. С. 79-97.
5. Яшин И.М., Карпачевский Л.О. Экогеохимия ландшафтов. М.: РГАУ-МСХА. 2010. – 224 с.
6. Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева. 2005. 109 с.
7. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия. Ред. Котляков В.М. М.: ГЕОС. 2000. 263 с.

Аннотация

В модуле 5 охарактеризованы методы инженерно-экологических изысканий. Они охватывают приемы экологического картографирования, стационарные режимные наблюдения (в системе мониторинга ОВОС), дистанционное картирование, применение сорбционных лизиметров для оценки компонентного состава, масштаба и форм миграции химических элементов загрязнителей. Также будут рассмотрены методы биоиндикации и оценки экологической ситуации. В блоке лабораторных методов рассматриваются хроматография, спектрофотометрия и сорбция веществ некоторыми сорбентами.

5.1. Экологическое картирование ландшафтов как этап экологической экспертизы объекта при ОВОС

(**полевые методы** изысканий на объектах ОВОС)

Экологическое картирование – этап эколого-геохимического изучения ландшафтов при ОВОС в полевых условиях выбора участка для строительства. Экологическое картирование сформировалось сравнительно недавно при реализации научной программы «Экологическая безопасность России» в 1995 году. Сущность подобной методологии состоит в отражении на экологических картах разного масштаба экологических ситуаций, а также *взаимосвязей картируемых объектов* (почв, растительности…) с конкретными ландшафтами. Такой подход позволяет получить обобщенную и наглядную информацию как о состоянии, так и загрязнении ландшафтов самыми различными экотоксикантами *при оценке объекта*. К полевым методам относятся контактные (маршрутные наблюдения) и дистанционные. Подробно о них будет сказано позже.

Сущность экологического картографирования состоит в отражении на разномасштабных картах экологических взаимосвязей картируемых объектов (почв, растительности...) с антропогенными веществами. Подобный подход позволяет получить обобщённую и наглядную информацию как о состоянии самих объектов окружающей среды, так и о характере их загрязнения, или оценки состояния разных групп живых организмов (например, болезни

человека, животных, сукцессии растительных и микробных сообществ). Этот подход в России разрабатывается с 1995 года.

В зависимости от отношений «субъект объект» и особенностей ландшафтов выделяются следующие крупные блоки (этапы) экологического картографирования (табл.3).

Этапы экологического картографирования

В качестве объекта экологического картографирования принят ландшафт или ПТК. Оценочными единицами могут быть *типологические и региональные* единицы, сгруппированные или по однотипности реакций к антропогенному (и иному) воздействию (потенциалы устойчивости, самоочищения), или по типу воздействия на ландшафт (например, типы техногенных воздействий, присущие антропогенному использованию ландшафтов).

На первом этапе создаются карты современных ландшафтов (с учётом реальных *антропогенных нагрузок*). На их основе создаются *серии других карт*: динамики состояний ландшафтов (и их компонентов); *антропогенной нагрузки; деградации и разрушения ландшафтов; техногенных модификаций; новых природно-антропогенных комплексов.* При создании таких карт оценивается экологический резонанс (и экологические колебания) состояний компонентов исходного типа ландшафтов, а также возможность их восстановления до первоначального типа.

При экологическом картографировании учитывается ряд методических принципов: региональности, территориальной дифференциации, комплексности, учёта экологического потенциала (и последовательной смены состояний фаций, урочищ) и ландшафтной индикации загрязнения природной среды. *Ландшафтную индикацию применяют при исследовании ответных реакций компонентов экосистем на техногенные нагрузки при ОВОС. При этом трансформация ландшафта проявляется* либо в виде коренной перестройки всех его компонентов, либо в виде техногенных модификаций, либо в виде новых созданных техногенно - природных комплексов. Изменения в ландшафтах устанавливаются по критическим экологическим нагрузкам. Индикатор техногенного воздействия – *поступление реальной массы техногенных химических соединений в форме жидких, твёрдых и газообразных осадков на единицу площади (га, км^2) за единицу времени (сутки, месяц, сезон, год).*

Индикаторами загрязнения могут быть характер и степень нарушенности морфологии ландшафта (и его компонентов), а также нарушение ряда экологических процессов, обусловливающих взаимосвязь групп живых организмов как между собой, так и с абиотическими факторами.

На втором этапе устанавливается характер взаимосвязей, состав, структура и динамика веществ в ненарушенных (фоновых) ландшафтах. Подобные ПТК, изучаемые чаще всего в заповедниках, должны быть аналогами трансформированных ландшафтов, то есть следует учитывать зонально - провинциальный закон дифференциации ландшафтов, почв, растительности... и биоты. *При фоновом мониторинге* (и стационарных режимных исследованиях на экологических профилях, «ключах», эталонных участках...) определяются экологические параметры нативного состояния ландшафтов и *разрабатываются экологические (и биохимические) нормативы нагрузок,* состояния экосистем и динамики процессов (суточные, сезонные, годовые). В качестве параметров могут быть: биомасса, круговорот типоморфных и загрязняющих химических элементов, величины теплового, водно-солевого, пищевого и иных балансов, инфильтрация влаги и растворимых веществ, поверхностный сток, аэральный привнос веществ и другие. В отечественном ландшафтоведении под «*...нормой состояния ландшафта понимается взаимообусловленная совокупность пространственных и временных состояний ПТК в относительно однородных гидротермических и геоморфологических условиях*» (Дьяконов К.Н., Дончева А.В., Звонкова Т.В., Казаков Л.К., 1994).

Антропогенные воздействия, наряду с радикальной трансформацией облика ландшафтов, приводят к существенным *количественным изменениям* в обмене веществ и энергии в их основных компонентах (почвах, биоте...). Нарушающиеся функциональные связи внутри ландшафтов, способствуют нередко перестройке структуры растительных (и иных) сообществ организмов, снижению их биопотенциала, активизации негативных (новых в экосистемах) природных процессов, в частности, мобилизации в растворимое состояние тяжёлых металлов, радионуклидов, углеводородов, олиготоксинов и активной миграции их как по профилю почв и в каскадных геохимических ландшафтах, так и в трофических цепях, и в составе гумуса почвы (Яшин И.М. и др., 2000). На ранних стадиях антропогенеза достаточно эффективными являются *методы биотестирования* и компонентной индикации, а при длительных техногенных нагрузках *эти методы (равно как и параметры ПДК и другие) утрачивают свои функции,* поскольку техногенные нарушения уже реализуются на более высоком таксономическом уровне – уровне новой организации (сукцессий и т.д.) морфоструктуры ландшафтов. В этих условиях более эффективной является комплексная ландшафтная индикация загрязнения (И.М. Яшин, Л.Л. Шишов, В.А. Раскатов, 2000).

Комплексный подход к ландшафтно-экологическому картированию определяет решение ряда задач, обобщённых в виде блок-схемы: базисного, оценочного, прогнозного и блока управления (табл. 3). С учетом региональных особенностей эта схема может модифицироваться.

Табл. 3. Этапы ландшафтно - экологических исследований (Дончева А.В. и др., 1999, с. 52)

Этапы исследований	Решения задач по блокам (И.Я.)			
	Базисный блок	Оценочный блок	Блок управления	Прогнозный блок
Первый. **Постановка задачи**	**Изучение пространственно-временной организации и экологических связей в ландшафтах**	**Оценка современного состояния ландшафтов (антропогенно-изменённых и фоновых).**	**Разработка мероприятий по оптимизации ландшафтов и их управлению.**	**Прогноз экологического состояния ландшафта.**
Второй. **Содержание работы**	**Изучение факторов формирования (и трансформации – И.Я.) ландшафтов, составление банка данных и их экологических параметров (Использование ГИС технологий – И.Я.)**	**Выбор субъектов, критериев и параметров экологической оценки; проведение частных и интегральных экологических оценок состояния ландшафтов.**	**Выбор системы мер, необходимых при организации природопользования.**	**Составление прогнозов развития экологической ситуации в ландшафтах.**
Третий. **Содержание работы**	**Составление карт (И.Я.): – карты восстановленных ландшафтов, – карты динамики ландшафтов, – карты современных природно-антропогенных ландшафтов, – карты типов воздействия и антропогенной трансформации ландшафтов; Издание специального комплекта тематических карт, отражающих структурно-функциональные параметры природных (нативных) и природно-антропогенных ландшафтов**	**Составление карт (И.Я.): – карты устойчивости ландшафтов к антропогенным воздействиям, – карты оценки экологического потенциала ландшафтов, – карты оценки потенциалов загрязнения природных сред; Подготовка тематических карт частных экологических оценок компонентов ландшафтов и степени экологического риска. Составление ландшафтно-экологической карты.**	**Составление карт: – карты рекомендуемых мероприятий по охране и рекультивации ландшафтов, – карты по рациональному использованию ландшафтов, – карты экологических ограничений, – карты обоснования сети постов и станций (стационаров – И.Я.) для ландшафтно-экологического мониторинга..**	**Составление карт: – карты прогнозируемых состояний ландшафтов при проведении природоохранных мероприятий, – карты возможных состояний ландшафтов при альтернативных типах..., – прогнозные карты управления состояние ландшафтов.**

Необходима также и оценка благоприятности или опасности конкретной экологической ситуации – как среды обитания – для биоты – людей, животных, дикой и культурной растительности. Выбор критериев опирается на знание характера и динамики структурно функциональных связей, например, в элементарных геохимических ландшафтах (М.А. Глазовская, 1996), обусловливающих устойчивость, адаптацию и оптимальное существование людей и биоты. *Такими критериями* могут быть, в частности, соотношение основных видов фаций в урочищах, соотношение площадей основных типов урочищ в местностях, их биоразнообразия, возрастная структура и сукцессии растительных сообществ, биомасса и растительный опад, внутригодовая структура поверхностного стока веществ, своеобразие

внутрипочвенной миграции веществ, их состав, свойства и другие (Снакин В.В. и др., 1993, И.М. Яшин,1993).

На антропогенное воздействие реагирует, в первую очередь, биота: состав фаций и урочищ в ландшафте. Для определения степени нарушенности пространственной структуры ландшафтов применяются *ландшафтный, картографический и дистанционный методы* (И.М. Яшин, Л.Л. Шишов, В.А. Раскатов, 2000). Широкое применение методов картографии в почвенно-агрохимических, ландшафтных, геохимических, географических, геоботанических и экологических изысканиях преследует, в сущности, две цели: первая – познание ландшафтов и *вторая – средство представления результатов полевых наблюдений в виде серии разномасштабных карт*.

Что нового в экологическом картографировании ландшафтов

В настоящее время существуют *два подхода* при экологическом картографировании: первый – традиционный и *второй* – новый, основанный на использовании компьютерных технологий и геоинформационных систем (ГИС), он нами не рассматривается. *При первом подходе* информация добывается, главным образом, с помощью полевых крупномасштабных экологических (и биогеохимических) изысканий. А при втором анализируют большой массив информации: начиная от гидрометеорологических данных (атмосферные осадки, температуру почв, объём талого и грунтового стока), которые влияют на специфику трансформации экотоксикантов и заканчивая оценкой рельефа, почв, природных вод. Эти данные важны для того, чтобы *перейти от простой констатации фактов* к прогнозу поведения ксенобиотиков в ландшафтах. Большую помощь здесь оказывает *знание зональных процессов почвообразования и эволюции ландшафтов*. *Для полной оценки экологического состояния ландшафтов контроль* только за содержанием экотоксикантов в поверхностных горизонтах почв, растительности и природных водах уже *недостаточен*. *Необходимо иметь сведения о процессах трансформации продуктов техногенеза, направленности и масштабах миграции веществ, зонах их аккумуляции (на почвенно-геохимических барьерах).* Подобная информация позволяет более полно прогнозировать миграционные процессы и, в известной мере, с помощью технологий, влиять на их активность.

В пределах почвенного профиля, например, антропогенный поток веществ *существенно модифицируется*, поскольку определенная масса ионов металлов (например, тяжёлых – Fe^{3+}, Cr^{3+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}) не только мобилизуется в почвенный раствор, но и вступает в многообразные взаимодействия с органическими лигандами и коллоидами. Образующиеся мобильные металлорганические и иные комплексы способны к активной водной миграции, например, в таёжных геохимических ландшафтах. Часть их, как показывают стационарные исследования А.Д. Фокина (1975), А.И. Карпухина (1986), И.М. Яшина (1993), сорбируется на гумусово-

аккумулятивном, карбонатном, иллювиально-железистом и глеевом барьерах миграции, а часть свободно перемещается вглубь почвы и почвообразующих пород, проникая в грунтовые воды. *Здесь экотоксиканты уже представляют потенциальную опасность для биоты*: они химически активные. Наряду с указанным механизмом загрязнения природных вод возможно попадание ксенобиотиков *с эрозионным стоком и сбросом промышленных и бытовых вод.*

5.1.1. Эколого-геохимическая оценка загрязнения почв

Комплексная оценка экологического состояния ландшафтов включает ряд взаимосвязанных блоков: *первый* - это источники химического загрязнения почв и ландшафтов. К ним относятся не только средства химической защиты растений, удобрения и мелиоранты, но и продукты промышленных предприятий, автотранспорта, теплоэлектростанций и другие. *Второй блок* – транзитные ландшафты (склоны мореных холмов и гряд), которые принимают экотоксиканты и в которых происходит их трансформация, водная и твердофазная (эрозионная) миграция. *Третий блок* – депонирующие ландшафты (межувалистые понижения, поймы рек, болота, а также ручьи, реки и озера – местные базисы эрозии). В них наблюдается аккумуляция *техногенных экотоксикантов, их превращение и миграция*.

Среди источников загрязнителей следует отметить *аэральные выпадения* пыли, сажи и кислотных дождей. По сведениям Ю.Е. Саета (1988) и М.А. Глазовской (1988) запыленность промышленных городов *центра Русской равнины* составляет 50-150 кг/км^2 в сутки, а в фоновых лесных ландшафтах она в 5-10 раз меньше. *Тонкодисперсные частицы пыли* способны сорбировать аэрозоли, содержащие сильные (новообразованные) минеральные кислоты (H_2SO_4, HNO_3...), а также химические элементы с высокими Кларками – Fe, Mn, Zn, Cr, Cu. Более токсичные ионы тяжелых металлов - бериллия, кадмия, свинца, ртути, сурьмы, а также мышьяка находятся в парогазовой фазе аэрозолей. Вообще специалисты выделяют пять основных групп поллютантов:

1. ионы тяжелых металлов (ТМ),
2. фенолы, формальдегид, полихлорбифенилы (ПХБ),
3. радионуклиды,
4. полиароматические углеводороды,
5. диоксины.

Однако сюда следует добавить *микотоксины, пестициды* и ряд других ксенобиотиков. Их влияние на биоту изучено неполно. Основное внимание уделяется безопасности человека. *В то же время качество жизни людей неразрывно связано с экологической безопасностью аграрных и иных ландшафтов*. Нужно еще научиться нормировать загрязнения экосистем с экологических позиций.

Что такое нормативная база при ОВОС

При обосновании полученной экологической информации при ОВОС заметное место отводится *нормативной базе*. Она включает специально разработанные критерии.[3] В оценку ситуации при ОВОС включается также *расчет ущерба от антропогенных воздействий*, разработка (выбор) оптимальных условий хозяйственной деятельности, определение экологических рисков (И.М. Яшин с соавт., 2000) и оставшихся резервов почв и ландшафтов.

Нормативная база разработана неполно и требует совершенствования. В настоящее время природоохранные мероприятия в Российской Федерации основываются на *нормировании загрязнителей применительно к популяции людей*. А это некорректно: упущен целый пласт менее организованной биоты. Критерии оценки степени и характера загрязнения ─ это *санитарно-гигиенические нормативы*. Широко используется такой норматив как ПДК (предельно допустимая концентрация) для оценки степени загрязнения продуктов питания и кормов. *Здесь данный норматив вполне уместен*. Затем он был *некорректно* перенесен на ландшафты и почвы. Однако при этом разработчики ограничились общим понятием «почвы», не детализируя их типы и местоположение в ландшафтах земного шара.

Более приемлемым является геохимический показатель *ИСЗ* (*индекс суммарного загрязнения*) почвы (Ю. Сает, 1993): ИСЗ = $\Sigma k_н$ ─ (n-1), где:

$k_н$ ─ *коэффициент накопления* в почве экотоксиканта; рассчитывается как отношение масс C_i (реальное содержание, например ионов Hg^{2+} в загрязненной почве) к $C_{фон}$ (содержание ионов Hg^{2+} в *фоновой почве*);

$k_н = C_i/C_{фон}$; n ─ количество изучаемых элементов без 1. Затем составляется *шкала градаций ИСЗ*: 0-16 ─ незагрязненные; 16-32 ─ слабо загрязненные; 32-64 ─ средне загрязненные; 64-128 ─ сильно загрязнённые и > 130 ─ критическое (кризисное) состояния почв, экосистем.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) выделяет три приоритетных класса токсичности химических элементов:

1-й класс: As, Be, Hg, Se, Cd, Pb, Zn, F;

2-й класс: Cr, Co, B, Mo, Ni, Cu, Sb;

3-й класс: Ba, V, W, Mn, Sr.

Сюда же нужно добавить микотоксины, углеводороды, радионуклиды, ПАУ, ПХБ и диоксины.

При экологическом картографировании экосистем при ОВОС учитывают виды близлежащих промышленных производств и их возможное влияние, например, на кислотно-основные параметры почв сельскохозяйственных ландшафтов. Так, цементные и строительные заводы, предприятия черной металлургии способствуют п*одщелачиванию почв*. Причем величина pH снеговых вод вблизи этих объектов достигает величин 8,2-9,4. В составе

[3] *Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И.* Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. М.: Медицина. 1986. 320 с.

поглощающего комплекса почв увеличивается содержание ионов кальция и магния. Напротив, теплоэлектростанции на угле, нефтехимические заводы, цветная металлургия и терриконы угольных шахт приводят к подкислению почв и природных вод.

По эффекту воздействия на почвы токсичные химические элементы дифференцируются на две группы: *первая* – биогеохимически активные и *вторая* – трофически активные. В первом случае химические элементы, содержащиеся в техногенных продуктах, сорбируются гумусом, коллоидами и минералами почвы. Наблюдается некоторое изменение окислительно-восстановительных и кислотно-основных свойств почв. Подобные изменения вызывают элементы с высокими Кларками: железо, марганец, кальций, магний, натрий, калий, алюминий, а также анионы сильных минеральных кислот. *Во втором случае* на почву и ее биоту влияют высокотоксичные химические элементы (*бериллий, ртуть, мышьяк, кадмий, селен, свинец, хром*), концентрация которых пока еще очень незначительная в агроэкосистемах. Их экологическая опасность реализуется иначе: в биогеохимической миграции и включении в трофические (пищевые) цепи, попадая и аккумулируясь в кормах, продуктах животноводства и, наконец, в организмах людей. Некоторые из них выступают «*двойниками*» металлов в ферментах и клеточных структурах, нарушая обмен веществ, вызывая экологические заболевания – эндемии.

Кроме традиционного подхода при оценке экологического состояния зон загрязнения агроландшафтов в настоящее время активно используются технологии на основе *географических информационных систем (ГИС)*. Подобная система ГИС была разработана в Международном институте аэрокосмической съемки и наук о Земле (ITC) в Нидерландах, в 1985 году.

Базовыми слоями информации, созданной для оценки экологического состояния агроландшафта, являются: *цифровая модель рельефа, почвенная и ландшафтная карты, климатическая, геоботаническая и иные карты*. Такие карты уже разработаны в университетах США (DTED, 1996) и они давно внедрены в сельскохозяйственное производство Америки; *см. статью*: *И.М. Яшин, Н.Г. Рамазанов, И.Ю. Савин «Агроэкологическая оценка земельных ресурсов при использовании компьютерных технологий»: ж. Известия ТСХА. 2000. Вып. 1. С. 94- 115.*

5.1.2. Стационарный метод мониторинга экосистем

Введение

Термин «*мониторинг*» появился еще до Стокгольмской конференции ООН (1972), посвященной глобальным проблемам охраны окружающей среды[4]. Первые предложения были разработаны специалистами СКОПЕ (специальная научная комиссия по проблемам окружающей среды) в 1971 г. *Основные положения* мониторинга впервые изложены в

[4] Здесь и далее нами вместо термина «**окружающая среда**» будут использоваться точные географические понятия **«биосфера», «ландшафты»**, которым присуща конкретная таксономия. Ландшафты – картографируемая единица, а окружающая среда – это тривиальный бытовой термин, удобный в разговоре.

работе американского специалиста Munn R.E. «Global Environmental Monitoring Systems (GEMS). Action Plan for Phase 1. SCOPE. rep. 3. Toronto: 1973. 130 p.». Ему принадлежит также наиболее общее определение мониторинга... «*как системы повторных наблюдений* за состоянием компонентов окружающей среды в пространстве и во времени *с заранее подготовленной научной программой»*. В это определение, на наш взгляд, целесообразно добавить фразу «*с помощью комплекса методов экологических исследований*» (*И.Я.*).

Чем же отличаются термины «*мониторинг» и «контроль за состоянием биосферы*»? Первый уже на начальном этапе предполагал не только получение информации (ее обобщение и анализ), но и активные действия – *управление*: изменение экологической ситуации посредством ресурсосберегающих технологий в системе ОВОС.

Экологический мониторинг, следовательно, представляет собой систему *методов полевых и лабораторных изысканий,* с помощью которых проводится масштабная оценка современной экологической ситуации конкретного региона, административного района (ПТК, горно-обогатительного комбината, водоохранных зон рек, озер..., специальных полигонов) и последующие прогноз ее состояния и реконструкция (улучшение) И.М. Яшин, Л.Л. Шишов, В.А. Раскатов (2000); Яшин И.М. и др., 2012).

Блок-схема методов экологического мониторинга объединяет группы методов, условно интегрированные в 4 блока:

1-й – методы наблюдения (включая и дистанционные);
2-й – методы оценки,
3-й – методы прогноза и
4-й – методы (и технологии) управления экологической ситуаций.

Составными частями (*объектами*) экомониторинга являются разные уровни ландшафтной организации веществ:

а*) фоновый,*
б) региональный,
в) импактный (локальный)[5]*,*
г) глобальный.

С учетом специфики антропогенеза в каждом из них можно выделить такие *направления исследований ландшафтов*:

1) мониторинг экологического состояния почвенного покрова, интенсивности проявления зональных процессов почвообразования и почвенных режимов;
2) мониторинг производительной способности почв;
3) эрозионный;
4) ирригационно-мелиоративным;

[5] По целесообразности и надобности мониторинг может быть плановый, **оперативный**, «тотальный», дополняться экологической экспертизой объекта.

5) агрофизический (особенно в агроландшафтах);
6) агрохимический;
7) состояния почвенной биоты;
8) Экотоксикологический;
8) экорадиационный;
9) санитарно-гигиенический (анализ и коррекция параметров ПДК).

Например, в составе *импактного (локального) мониторинга* можно выделить такие направления исследований *селитебных и антропогенно преобразованных ландшафтов*:

1) изучение химического загрязнения и санитарного состояния почвенного покрова в связи с проведением утилизации отходов АЭС, осадков сточных вод (ОСВ), тепло-электростанций (ТЭС);
2) состояние почв и вод вблизи животноводческих комплексов;
3) контроль за загрязнением почв выбросами промышленных предприятий, автотранспортом, вокруг карьеров, а также вблизи крупных свалок.

Что такое *фоновый мониторинг?*

Фоновый мониторинг направлен на уточнение последствий глобального загрязнения Биосферы и выявления ландшафтов *(фона*), не испытавших существенного (*и прямого*) антропогенного воздействия. Фоновые участки служат своеобразной точкой отсчета (*природным стандартом*) для выявления особенности регионального и импактного загрязнения экосистем. Ранее он осуществлялся в службах Госкомгидромета. Причем, физическое загрязнение определялось по объемам пылевых выпадений в т/км^2 за 1 год (сезон). *Оценка химического загрязнения* предусматривает обязательный (согласно международным нормам) *перечень химических соединений*, дополняющийся на основе региональных экологических проблем: бензапирен, ДДТ, СПАВ, нефтепродукты, ПХБ, ионы тяжелых металлов (Hg, Pb, Cd, Be), мышьяк, компоненты ракетного топлива, пестициды, азот и фосфор... В связи с аэральным переносом загрязнителей и выпадением «кислотных дождей» в программу исследований следует включить диагностику соединений N, S, CL, F, (H_2S), pH (в почвах, в жидких и твердых атмосферных осадках). При фоновом мониторинге проводятся *гидрометеонаблюдения*: измеряется температура воздуха и почвы, осадки, их химический состав.

Кроме сети метеопостов *при фоновом мониторинге* в качестве объектов выступают *биосферные заповедники* (Г.В. Добровольский с соавт., 1985), заказники, служащие как для установления загрязнения почвенного покрова (природных вод), так и оценки характера и степени деградации экосистем. В то же время и сами ландшафты *заповедников* могут претерпеть антропогенное воздействие и существенно изменится.

Соловки - объект фонового мониторинга. В туристических проспектах *о Соловецком архипелаге* содержатся иногда сведения, характеризующие первозданность и разнообразие экосистем, наличие *разных климатических зон*: *от тундр до смешанных*

лесов, богатство лесов ягодами и грибами, а озер – рыбой. Однако эта информация не в полной мере соответствует действительности. На самом деле, лесные ландшафты, например, острова Большой Соловецкий претерпели существенную деградацию еще в 30-х годах прошлого столетия (*в период промышленных рубок*) и до сих пор не восстановилась. Пешие ландшафтные маршруты, заложенные одним из авторов в 2004 г. (работы проводились по грантам РФФИ в 2002-2004 гг., руководитель экспедиционного и инициативного грантов - И.М. Яшин) от п. Соловецкий до горы Секирная (протяженность 12,4 км) выявили, что под «*смешанными лесами»* понимаются *сильно изреженные вырубки* – это, так называемые, *вторичные леса* из осины, березы, ольхи с примесью коренных хвойных пород. Подобная ситуация прослеживается вплоть до 7,5 км (и далее) от поселка. На острове имеются массивы почв и лесов, слабо затронутые деградацией. Они расположены, в частности, на северной (северо-восточной) и южной территориях Соловецкого архипелага (И.М. Яшин, 2005). Запасов рыбы в озерах стало заметно меньше, грибов и ягод – очень много (нужно знать места их сбора), полчища мошкары и комаров надежно охраняют экологические тайны Соловков. Даже летом *погода крайне неустойчивая, ветренная, дождливая (исключение июль).* На островах нет змей. Зоны тундры то же нет, поскольку отсутствует вечная мерзлота. Географически Соловецкий архипелаг расположен *в подзоне северной тайги, в приполярье*. Используемый нами *для фонового мониторинга* этот самобытный регион, требует дальнейшего исследования и разгадки многих исторических, социальных и географических тайн, о которых *очень кратко расскажем ниже.*

Что представляет географически Соловецкий архипелаг?

Соловецкий архипелаг, или в быту «Соловки», расположен в западной части Белого моря, между Карельским Поморьем и Летним берегом Онежского полуострова, недалеко от Полярного круга (в 25 км) и состоит из шести крупных и множества небольших островов. Наиболее известен о. *Большой Соловецкий: примерно* 25 километров в длину и 16 км в ширину. За долгие годы жизни на островах монахи построили дороги среди болот и завалуненных холмов, соединили каналами озера, расчистили от огромных камней сенокосы, окультурили небольшие массивы почв (подзолов и подбуров песчаных), построили дамбы. *На островах были устроены небольшие гавани, рыболовные тони, садки для рыбы, построен док, налажены многие промыслы и ремесла*. Создана была великолепная библиотека, которая почти полностью сгорела при пожаре в 1922 году. И в настоящее время туристы и паломники посещают Соловецкий архипелаг, чтобы увидеть величественные сооружения Соловецкого монастыря, основанного в 1429-1434 гг. преподобными Савватием, Германом и Зосимой, а также Вознесенскую церковь на горе

A **B**

Рис. 16 Карьер (слева А) на Соловках четко отражает характер пород, а также маломощность и каменистость подзолов; **В** – насыпные почвы небольших огородов - агростратоземы около западной стены Соловецкого Кремля (фото Яшина И.М., 2004).

Секирная, ботанический сад (в 4 км на север от поселка), «переговорный камень», «филипповские садки» для рыбы, пустынь Савватьево, каменные лабиринты на Беломорском взморье. Напомним, что сокровища московского Кремля были вывезены на Соловки в 1612 году и здесь надежно спрятаны, но после освобождения Москвы от поляков значительная их часть здесь так и осталась. До сих пор эта тайна неведома и недоступна мирянам: *монахи умеют хранить тайны*.

A **B**

Рис. 17 Профили изученных почв на Соловках: **А** – подзол иллювиально-гумусовый песчаный на флювиогляциальных отложениях (в 110 м к С от аэропорта); **В** – подзол иллювиально-железистый песчаный на флювиогляциальных отложениях – в 40 м на З от Ботанического сада (фото Яшина И.М., 2004).

Рассмотрим некоторые методы стационарных исследований, которые проводятся по научной программе длительно (7-10 лет) на реперных участках с применением комплекса методов экологических изысканий.

Методы учета первичной продукции (количество органического вещества, образованного экологической системой за один год на единице площади и не использованного при дыхании) экосистем следующие:

Рис. 18 Профессор Яшин И.М. изучает почвы и растительный покров сенокоса, расположенного на осушенном болоте**:** торфяный горизонт (мощностью 24 см) здесь подстилается белесой глеевой супесью, а с 41 см – сочится вода; вдали - одно из озер Соловецкого архипелага в меж грядовой котловине (автофото Яшина И.М., 2004).

Рис. 19 Выбитое, закочкаренное *низко продуктивное пастбище вблизи Соловецкого Кремля*; ярко выражен антропогенный (мелко бугристо-западинный) микрорельеф участка; почвы – *подзолы слабо развитые* грунтово-глееватые песчаные сильнокаменистые на флювиогляциальных отложениях (исследования проводились по гранту РФФИ 2002-2004; фото Яшина И.М., 2004).

1. *Метод парных площадок:* учитывается запасы фитомассы (а также ветошь и опад), определяется степень разложения опада. По балансовым уравнениям рассчитывается первичная продукция.

2. *Метод учета массы отмирающих вегетативных органов* – листьев и корней. Зная динамику этих процессов, можно рассчитать и массу первичной продукции – прирост биомассы.

3. *Метод минимальной оценки* основан на прибавлении к максимальному запасу зеленой фитомассы доли растительного опада.

4. *Метод последовательного суммирования* прироста биомассы (Kelly et al., 1974) не требует пояснений, если учесть годовой интервал времени, площадь апробирования и другие параметры экосистемы.

Для оценки первичной *продукции подземной части фитоценоза* пока еще не разработано надежных методов. Хид (Head, 1970) с помощью радиоактивной метки показал, что прирост массы корней травяных сообществ может составлять 50% от их запаса. Однако использование радиоактивных изотопов в поле не всегда приемлемо.

Для учета массы, состава и свойств веществ *корневых выделений* растений и учета продуктов жизнедеятельности *микроорганизмов* используют сорбционные лизиметры, методы водных и песчаных культур.

Методы диагностики водообмена сельскохозяйственных культур в зоне аэрации подробно изложены в работах, например, Н.А. Муромцева (1991).

Методы оценки интенсивности трансформации растительных остатков, или опада. Широко используются лабораторные и полевые наблюдения. В первом случае опад локализуется на поверхности почвы или породы в специальных сосудах. При заданных режимах температуры и влажности за конкретный интервал времени рассчитывается степень трансформации органических веществ опада

$$\gamma = m_{тр}/m_{исх}\cdot 100, \qquad (13)$$

где $m_{тр}$ – трансформированная масса (например, в опыте она составила 6,0 г воздушно-сухой массы); $m_{исх}$ – исходная масса воздушно-сухих растительных остатков – (10,0 г.). Подставив опытные данные, получим искомый параметр – 60%.

Наиболее полную информацию о природе и интенсивности процесса трансформации свежих и гумифицированных растительных остатков можно получить в нативных экосистемах *методом сорбционных лизиметров (И.С. Кауричев, И.М. Яшин, В.А. Черников, 1996*). В данном случае оценивается не только общая потеря массы растительного опада, но и диагностируются *новообразованные жидкие и газообразные продукты*, улавливаемые специальными сорбентами (*активированным углем разных марок, ионитами и оксидом алюминия*). Закладывая сорбционные лизиметры в разных генетических горизонтах почв (или под ними) элементарных геохимических ландшафтов, можно получить важную дополнительную информацию о скорости и направленности превращения опада растений. То есть *решается экологическая задача об экологических функциях ВОВ.*

К рассмотрению МСЛ мы и переходим.

5.1.3. Применение сорбционных лизиметров при ОВОС

Метод лизиметрических хроматографических колонок, или проще метод сорбционных лизиметров (МСЛ), был разработан в 1959 г. И.С. Кауричевым и Е.М. Ноздруновой. В дальнейшем данный метод был усовершенствован И.М. Яшиным (1973, 1993, 2013). МСЛ используется главным образом *для изучения масштаба миграции водорастворимых органических веществ (ВОВ), оценки их состава и свойств, а также металлорганических соединений в почвах.* В качестве сорбентов применяются оксид алюминия (Na^+-форма), синтетические органические иониты и активированный уголь. *Другие типы лизиметрических устройств применяются при изучении водного баланса*.

Чистые сорбенты в колонках располагаются в жестких пластмассовых колонках в виде автономных (*стационарных*) слоев мощностью 2...3 см, которые разделяются очищенным от Fe^{3+} кварцевым песком (рис. 14). Колонки в двух- и трехкратной поверхности устанавливаются в почвенный профиль, под основные генетические горизонты, на заданный период времени. Мобильные формы веществ и химических элементов проникают в колонки и избирательно поглощаются сорбентами. Вещества поступают в лизиметры в результате вертикальной и боковой инфильтрации влаги. *Основу МСЛ составляют лизиметрический и хроматографический приемы* изучения различных классов водорастворимых веществ – педогенных и техногенных, свободно мигрирующих в почвенном профиле.

Положения, определяющие суть МСЛ:

1) конструктивные особенности сорбционных лизиметров;
2) сорбенты, применяемые при решении экспериментальных задач;
3) схема и методы фракционирования компонентов ВОВ или металлорганических комплексов, сорбированных тем или иным (иными) сорбентом;
4) идентификация индивидуальных органических веществ в растворах соответствующими методами;
5) расчет величин масштаба миграции веществ, коэффициентов мобилизации и миграции (И.М. Яшин, 1993).

Применив прием концентрирования веществ в массе целевого чистого сорбента или сочетания сорбентов, размещенных послойно в колонке, *удается сохранить мобильные ВОВ* и металлорганические комплексы от интенсивной биодеградации и диагностировать их компонентный состав и формы абиогенной миграции в разных типах почв (И.С. Кауричев, 1965).

Используемые в сорбционных лизиметрах тонкодисперсные поглотители (оксид алюминия и активированный уголь), оказывают заметное сопротивление потоку фильтрующихся через колонку природных водных растворов. Отсюда следует, что «*дренажная функция*» сорбционных

лизиметров в сравнении с другими типами конструкций лизиметров, работающих по принципу дренажных устройств, практически не выражена.

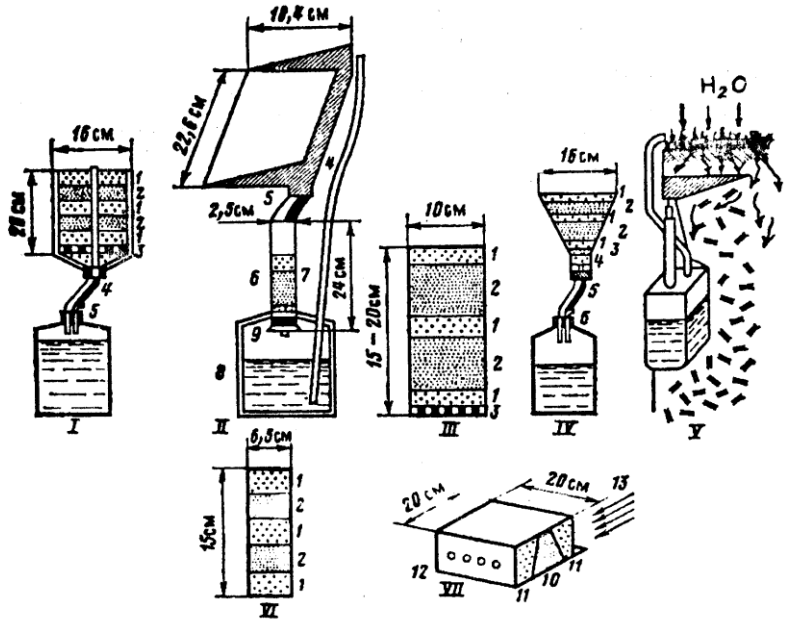

Рис. 20.

Лизиметрические хроматографические колонки I–IV для сорбции водорастворимых веществ с нисходящим током почвенной влаги, V – расположение лизиметрической хроматографической колонки (конструкции II) в профиле почвы, VI – лизиметрическая хроматографическая колонка для сорбции веществу с восходящим током почвенной влаги, VII – плексигласовая лизиметрическая хроматографическая колонка для сорбции водорастворимых веществ при боковом внутрипочвенном стоке. I – прослои песка (2-2,5 см), 2 – сорбент, 3 – дренаж (слой битого стекла 1,5 см и слой кварцевого песка 3 см), 4 – плоский лизиметр Шиловой (покрытый эпоксидной смолой), 5 – толстостенный шланг, соединяющий лизиметр с сорбционной колонкой, 6 – сорбционная трубка, 7 – вакуумный шланг для откачки воды, 8 – приемник почвенных вод, 9 – резиновая пробка с выводной стеклянной трубкой, 10 – прослои песка, 11 – слой сорбента, 12 – отверстия в задней стенке для выхода растворов, прошедших через слой сорбента (Al_2O_3), 13 – направление движения бокового внутрипочвенного стока (**И.М. Яшин, 1973, 1993).**

Эффективность натурных опытов, выполняемых с помощью МСЛ, определяется правильным выбором сорбента (А.А. Лурье, 1978), сорбционной колонки, тщательной установкой ее в траншее, использованием эффективной схемы разделения и анализа сорбированных веществ. Поэтому полевым исследованиям предшествовали лабораторные модельные опыты.

Изучению латерального (бокового внутрипочвенного) и восходящего (пленочно-капиллярного) потоков веществ в подзолистых почвах посвящены работы А.Д. Кашанского (1972; Е.Д. Никитина (1979). Методически они решены еще не в полной мере. Не исследованы также различно ориентированные абиогенные потоки веществ в едином варианте для конкретных элементарных почвенных ареалов (ЭПА) или педонов почвы. Слабо освещены механизмы процессов диффузии и конвективного переноса веществ в почвах.

Подготовка сорбционных лизиметров к полевым опытам и их установка в профиле почвы. Подготовку начинают *с отмывки кварцевого песка от железа* (аморфные и несиликатные формы) и органических веществ. Кварцевый песок со стеклозавода очищали по разработанной методике (И.М. Яшин, 1993) с попеременной обработкой растворами минеральной кислоты, водой, щелочью, а затем натриевыми солями органических кислот (щавелевой и лимонной). Песок периодически по 5 минут растирали руками

в перчатках. Через 2-3 суток песок промывали водой от коллоидов железа. Существующий способ (с 10% HCl) весьма длителен по времени и не всегда эффективен.

Сорбционные колонки подготавливают следующим образом: в колонку на слой дренажа (обычно песка) вносят суспензию сорбента в воде (чаще всего Al_2O_3 для хроматографии), предварительно отвесив необходимую массу. Колонки объемом 600 $см^3$ заполняют примерно по 100 г, в зависимости от задачи эксперимента и характера расположения слоев – один или несколько. С целью улучшения фильтрационных свойств оксида алюминия добавляют чистый кварцевый песок в соотношении 1:2, 1:5 (песок: сорбент) и хорошо перемешивают суспензию, чтобы добиться примерно равных скоростей фильтрации воды в сорбционных колонках и в почвах стационара. Самый верхний слой сорбента в колонке также покрывают слоем кварцевого песка мощностью 3 см. *Он задерживает тонкодисперсные почвенные частички при фильтрации почвенного раствора через колонку, предотвращая тем самым заиливание пор сорбента*. Слои песка и сорбентов обильно увлажняют дистиллированной водой через бумажный фильтр после набивки колонки. Затем сорбционную колонку слегка встряхивают руками в горизонтальной плоскости, чтобы достичь более плотной упаковки частиц сорбента и кварцевого песка; при этом избыток воды стекает.

Подготовленные к работе сорбционные колонки маркируют, упаковывают в целлофановые пакеты и прочно связывают попарно – открытой стороной внутрь.

Транспортировка колонок в таком виде возможна не только в ящиках, но и в рюкзаке, что весьма важно для их доставки на труднодоступные стационары Карелии и Архангельской области. Одновременно с колонками маркируют приемники лизиметрических вод, опробуют соединительные вакуумные шланги, упаковывают необходимый инвентарь.

В сорбционных лизиметрах наиболее часто используют оксид алюминия, активированный уголь и синтетические ионообменные молы: катионит КУ-2 $H+$ форме и анионит АВ-17 В OH^- форме.

Эффективность натурных опытов, выполняемых с помощью МСЛ, определяется правильным выбором *сорбента* (А.А. Лурье, 1978), сорбционной колонки, тщательной установкой ее в траншее, использованием эффективной схемы разделения и анализа сорбированных веществ. Поэтому *полевым исследованиям должны предшествовать лабораторные модельные опыты*.

Оксид алюминия – гидрофильный (полярный) сорбент. Активно сорбирует железо-органические комплексные соединения, а также кремнекислоту. Поглощает и ВОВ, но при этом часть их массы сорбируется необменно.

Активированный уголь – гидрофобный (неполярный) сорбент. Прекрасно поглощает кислотные компоненты ВОВ. Сорбция имеет обратимый характер.

Ионообменные смолы – применяются для сорбции катионов и анионов из почвенного раствора. Поглощают комплексные соединения с разными знаками зарядов.

Методы и параметры оценки абиогенной (водной) миграции веществ в системе почва – растение

Для почв таежных экосистем изучение абиогенной составляющей миграционного потока веществ весьма актуально, поскольку зоны формирования ВОВ в лесных подстилках и последующей их трансформации в генетических (минеральных) горизонтах *пространственно разобщены*, а их взаимосвязь может осуществляться только путем нисходяще-восходящей водной миграции. Данную почвенно-геохимическую особенность функционирования таежных экосистем следует считать характерной и неотъемлемой чертой биогеохимического потока химических соединений (И.М. Яшин, И.С. Кауричев, 1989; Яшин И.М., 1993; Яшин И.М., 2013).

Она включает анализ следующих взаимосвязанных операций**:**

1) расчет величины масштаба абиогенной миграции (по генетическим горизонтам),

2) оценку средней линейной скорости миграции в профиле почвы,

3) разработку концепции «абиогенных полей» миграции в биогеоценозе,

4) диагностику коэффициента интенсивности водной миграции (поведение химических элементов на барьерах).

Рассмотрим, в частности, расчет величины масштаба абиогенной миграции (на примере ВОВ). При расчете величины масштаба миграции водорастворимых химических соединений из генетических горизонтов почвы целесообразно использовать единую размерность – массу веществ (мг, г, кг).

Для этого искомую концентрацию, например, углерода компонентов ВОВ в элюатах, полученных в лаборатории из определенной массы конкретного сорбента (Al_2O_3, ионитов, угля и т.д.), переводят в содержание (концентрацию углерода ВОВ умножают на объем элюата). Затем находят массу ВОВ во всей навеске сорбента и пересчитывают ее на расчетную площадь – 1 м^2, исходя из рабочей площади сорбционного лизиметра.

Пример: 1 н. NaOH-элюате (V = 250 мг) из 50 г Al_2O_3 установлена концентрация углерода ВОВ, равная 125,0 мг/л. Следовательно, масса m мигранта в элюате будет равна 31,25 мг:

$$C \cdot V = 125 \text{ мг/л} \cdot 0{,}25 \text{ л} = 31{,}25 \text{ мг}, \qquad (14)$$

а на всю навеску сорбента в сорбционной колонке она составит 62,5 мг. Исходя из соотношения рабочей площади лизиметра (66,4 см^2) и расчетной поверхности почвы (1 м^2), находят искомую величину массы углерода ВОВ в щелочном элюате. В следующей аналитической операции используют водный раствор 0,1…1,0 н. H_2SO_4, который пропускают через сорбент после его промывки водой (200…300 мл). Диагностированную массу углерода ВОВ суммируют с предыдущей.

Фактические сведения о вертикальной нисходящей миграции ВОВ обобщены в (табл.3). Эти сведения были дополнены результатами опытов № 7 *кафедры земледелия и методики опытного дела* РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по двум контрастным сезонам: *осеннему, ранневесеннему* (без растительности) и *летнему* при возделывании озимой пшеницы сорта «Мироновская 808». ***В опыте № 7*** стационара «Михайловское» изучались 9 систем обработки почвы: 1) отвальная, принятая в Подмосковье без удобрений (контроль); 2) отвальная интенсивная с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. на 1 га; 3) отвальная интенсивная с внесением 2(60N60P60K) кг д. в.

Табл. 3. Миграционный баланс ВОВ (по Сорг, г/м^2) в элювиальной части почвенного профиля лесной и пахотной почв подзолистого типа стационаров в учхозе «Михайловское», (наблюдения 1 год: Яшин И.М., 1988-1989 гг.)

Глубина установки сорбционных лизиметров, см	Привнос ВОВ из залегающего выше горизонта (+МП)	Вынос ВОВ при нисходящей вертикальной миграции с потоком влаги (–МВ)	Масштаб мобилизации ВОВ в гор.A_0 и $A_{пах}$	Миграционный баланс ВОВ по горизонтам (МВ + МП)
Разрез 8. ***Лесная*** *сильноподзолистая легкосуглинистая почва*				
A_0 – 2 см	–	–30,1	159,2*	–30,1
A_0A_1 – 5 см	+30,1	–6,8	Не опр.	–30,1
EL – 24 см	+6,8	–12,1	« »	–5,3
На выходе из элювиальной части профиля	+36,9	–49,0		–12,1
Разрез 4. ***Пахотная*** *дерново-подзолистая почва;* ***минимальная обработка***				
$A_{пах}$ – 15 см	–	–13,6	86,7**	–13,6
EL – 21 см	+13,6	–5,3 (–22,2***)	–	+8,3(–8,6)
На выходе из элювиальной части профиля	+13,6	–18,9 (–35,8)		–5,3(–22,2)

+ 14,4 т навоза на 1 га; 4) минимальная фрезерная без удобрений; 5) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. на 1 га; 6) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. + 14,4 т навоза на 1 га; 7) сочетание трёхъярусной и отвальной обработок с фрезерной (трёхъярусная обработка на 38-40 см в занятом пару и под картофель, в остальные годы – без основной обработки: предпосевное фрезерование под зерновые на 8-10 см, под картофель – на 14-16 см), без удобрений; 8) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. на 1 га; 9) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. + 14,4 т навоза на 1 га. Использовали удобрения:

* С учётом полученных данных рассчитан погоризонтный баланс ВОВ. Например, **для лесной подстилки:** 60% мобилизованной в раствор массы ВОВ минерализуется до воды, газов и солей (95,5 г/м^2·год$^{-1}$), 21,1% или 21,1 г/м^2·год$^{-1}$, **закрепляется** на месте и 18,9%, или 30,1 г/м^2·год$^{-1}$, **мигрирует** вглубь почвы с потоком гравитационной влаги.

** Баланс ВОВ **в пахотном горизонте:** 79% мобилизованной в раствор массы ВОВ **минерализуется** (68,5 г/м^2·год$^{-1}$); 15,7%, или 13,6 г/м^2·год$^{-1}$, **элюируется** вглубь почвы и 5,3%, или 4,6 г/м^2·год$^{-1}$, **закрепляется** – сорбируется компонентами почвы.

*** Сорбционные лизиметры устанавливали непосредственно в зоне гор. EL одной из магистральных трещин, опускающихся до гор. BC.

NH_4NO_3, $Ca(H_2PO_4)_2$, KCL. Под картофель – K_2SO_4. Азотные удобрения вносили под предпосевную, а фосфорно-калийные – под основную обработки почвы. Известкование проводили доломитизированным известняком – $CaMg(CO_3)_2$* – дозой по полной гидролитической кислотности в августе после уборки зерновых, в 1969, 1978, 1987 и 1996 гг.

Анализ данных из работ А.А. Роде (1963) показывает, что в расходной части водного баланса первое место – от общего расхода – занимает *десукция древостоем (24…45%),* второе – испарение осадков с крон (22…25%), третье – разные виды стока (в том числе и фильтрация воды в почву – 3…24%). Рассматриваемые параметры весьма динамичны во времени. Исходя из средней величины годовых осадков 579 мм и 24%-м расходе на миграцию в почве фильтрующаяся масса воды в профиле подзолистой почвы составит **139 мм**. Известно, что масса воды в 1 мм жидких осадков на 1 га составляет 10 т. Отсюда масса воды, просочившейся через расчетную площадь 1 м^2, будет равна 139 кг/м^2. На основе соотношения рабочей площади лизиметра (407 см^2) и расчетной поверхности почвы (1 м^2) найдем искомую величину: 5,7 л H_2O. При площади сорбционного лизиметра 66,4 см^2 эта величина будет равна примерно 1 л.

Сорбционные лизиметры широко применяются *для оценки барьеров миграции, на которых могут сорбироваться ксенобиотики*.

Для оценки барьеров миграции используют параметры: коэффициент $k_{моб}$, коэффициент миграции $k_{миг}$, граф квадратной матрица (по В.Л. Анохину, 1974) и, наконец, приемы математического моделирования. Каждый из параметров отражает тот или иной уровень системной организации веществ:

R_f и $k_{миг}$ – профилеобразующие и горизонт-образующие уровни;

$k_{моб}$ – микропроцессы, а

граф квадратной матрицы – ландшафтно-геохимические процессы.

Параметр «масштаб миграции» (г/м^2·год$^{-1}$) удобен в сравнительном плане, однако не совсем ясен источник мобильных химических элементов (И.С. Кауричев, 1965); показатель **R_f** используют как меру запаздывания мигранта (в горизонте и профиле) в сравнении с носителем (гравитационной влагой); коэффициент миграции **$k_{миг}$** приемлем для ландшафтно-геохимической оценки миграционной способности веществ, а граф квадратной матрицы *задуман как модель* перераспределения мигранта в профиле почв с потоками гравитационной влаги; *коэффициент мобилизации* **$k_{моб}$** позволяет дифференцировать этап миграции на стадию мобилизации конкретного химического элемента в раствор из труднорастворимых веществ и затем стадию его миграции (следовательно, здесь можно выделить два времени t_1 и t_2 и две скорости **V_1 и V_2**): мигрант вначале мобилизуется в раствор, а затем мигрирует с направленным потоком гравитационной влаги. **$k_{моб}$** определяется *с помощью модифицированного варианта МСЛ* (И.С. Кауричев, И.М. Яшин, 1989). Кратко охарактеризуем его особенности.

* Подразумевается $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, далее везде.

Модифицированный вариант МСЛ разработан Яшиным И.М.(1993) при изучении продуктов трансформации тонкодисперсных порошков извести, содержащих ТМ, а также растительных остатков (в том числе и меченных радиоактивным изотопом ^{14}C). Сущность данного метода состоит в следующем. Как и в самом МСЛ, в новом варианте применяют те же сорбционные колонки, только в самой верхней их части закладывается известная масса растительных остатков, например, в чистом капроновом мешочке. Сверху насыпается слой мокрого кварцевого песка. Вся колонка обильно увлажняется, а на стационаре устанавливается (в 2-3 –х кратной повторности) в генетические горизонты, исходя из цели эксперимента. *Контроль* – такие же колонки, но только с сорбентами.

Рассмотрим фактические данные опыта и возможности модифицированного варианта МСЛ. Опыт по трансформации опада растений проводился на опушке смешанного леса, в юго-западной части Подмосковья, на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и длился 1 год.

Скорость трансформации растительного опада можно дифференцировать на *среднюю и истинную (мгновенную)*. Первая отражает отношение трансформированной массы опада *в сорбционных лизиметрах* ко времени опыта $\mathbf{v = x/t}$; *истинная скорость*[6] представляет собой *первую производную* разлагающейся массы опада в определенный момент времени:

$$v = - da/dt = k \cdot a^n, \qquad (17)$$

где k – коэффициент пропорциональности (*или константа скорости превращения растительных остатков*);
n – порядок реакции, равный 1.

Знак минус в выражении (17) указывает на убыль массы (минерализацию) органогенного субстрата во времени (т.е. исходных реагентов); для процесса *мобилизации ВОВ в раствор из твердой фазы растительной массы* имеем:

$$v = da/d = k \cdot a^n. \qquad (18)$$

В связи с этим в уравнение скорости реакции 1-го порядка – $dC/dt = k \cdot C^n$ (т.е. n=1) вместо концентрации С можно подставить значения масс исследуемых растительных остатков, находящихся в момент времени t в реакциях трансформации:

$$-\frac{d(a-x)}{dt} = k_1(a - x), \qquad (19)$$

где a – исходная масса органогенного субстрата, г;
a–x – масса органогенного субстрата в конце опыта, г;

[6] **Мгновенная скорость**, позволяя оценить динамику, имеет тот недостаток, что в иной промежуток времени может иметь иное значение.

x – трансформированная масса органогенная субстрата, г.

Коэффициент k зависит от природы органогенного субстрата, закладываемого в сорбционный лизиметр, а также от гидротермических условий почв и ландшафта.

При расчете величин k_1 уравнение (19) следует преобразовать с учетом того, что a – const. Тогда:

$$\frac{dx}{a-x} = k_1 dt => \int_o^t \frac{dt}{a-x} k_1 \int_o^t dt, \qquad (20)$$

$$\text{Откуда:} \quad k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x} \qquad (21)$$

Подставив в уравнение (18) фактические данные, например по 1-му варианту опыта (t = 102 сут.; a = 40 г, x = 3,35 г), рассчитаем значение k_1:

$$k_1 = \frac{2{,}303}{102} \cdot \lg \frac{4{,}00}{0{,}65} = 0{,}23 \cdot 0{,}791 = 1{,}8 \cdot 10^{-2} \text{ г·сут}^{-1} \qquad (22).$$

Поскольку для различных исходных масс растительных остатков получены достаточно *близкие величины k*, в первом приближении можно допустить, что процесс трансформации свежих остатков растений в поверхностном слое подзолистой почвы *отвечает реакции 1-го порядка*.

Количественной мерой скорости реакции 1-го порядка наряду с величиной k могут служить период полураспада $T_{1/2}$ и среднее время трансформации органогенного субстрата.

При превращении половины исходной массы органогенного субстрата, т.е. **x = a/2 и t = $T_{1/2}$**, уравнение (22) после подстановки этих значений примет вид:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0{,}693}{k}. \qquad (23)$$

Подставив в выражение (23) фактическое значение k, получим

$$T_{1/2} = 0{,}693/0{,}018 = 38{,}5 \text{ сут.} \qquad (24)$$

Через время, равное **2 $T_{1/2}$** останется ¼ массы, а при **3 $T_{1/2}$** – 1/8 исходной массы.

Среднее время разложения растительных остатков в почве определяется как время, необходимое для уменьшения исходной массы в ***e*** раз (т.е. в 2,718 раза). Уравнение (19) можно представить в экспоненциальной форме:

$$a - h = a \cdot \exp(-kt), \qquad (25),$$

откуда:

$$x = [1 - \exp(-kt)]. \qquad (26)$$

Значения ***x*** рассчитывали для сравнения с фактическими результатами полевого эксперимента. Отметим, что величина **a–x**, в частности, во 2-м варианте опыта (*a* = 10,0 г, *x* = 6,70 г), достигает значений **a/e** = 10,0/2,718 = 3,67 г в момент среднего времени $\mathbf{t = 1/k_2}$ = 90,9 сут.

Следовательно, среднее время трансформации единицы исходной массы исследуемых растительных остатков в условиях таежной зоны равно обратной величине константы скорости. При этом точно нельзя сказать, когда полностью трансформируется органогенный субстрат. Можно лишь говорить о *вероятном времени превращения растительных остатков* в **гумусовые вещества (2-4%)** и продукты полной биодеградации – CO_2, минеральные соли и воду (65-72%). Исходя из формулы (23), *эта вероятность равна* $\mathbf{exp(-T_{1/2}/t)}$, где **t = l/k** трансформации растительного опада в конкретных экосистемах.

Результаты опыта позволили получить новые данные о кинетике процесса превращения растительных остатков. *Сорбционные лизиметры в данном случае выступали в качестве микромодели почвы*. Причем модель практически была адекватна почве.

Наряду с указанным выше процессом были изучены особенности трансформации порошка $CaCO_3$ в сорбционных лизиметрах. *Этот опыт также очень важный в системе ОВОС, поскольку позволяет диагностировать ионы ТМ и иные токсиканты в химически активных формах.*

5.1.4. Метод биоиндикации в системе ОВОС

Метод биоиндикации широко используется в экологии при диагностике загрязнения природных вод, почв и воздуха. Это интегральный и удобный метод, позволяющий дать общую оценку загрязнения с помощью тех или иных групп живых организмов: *дафний, червей, пчел, лишайников, кресс-салата*. Подчеркнем, что при биоиндикации дается оценка загрязнения компонентов экосистем, но при этом неясно, какие загрязнители, в какой концентрации они присутствуют. Степень воздействия токсикантов на живые организмы оценивается с помощью индекса LD_{50} и других показателей.

На наш взгляд, совершенствование данного метода может быть осуществлено путем достижения адекватности лабораторного модельного опыта с нативным ландшафтом: например, *некорректно изучать влияние ионов ТМ на проростки растений в чашках Петри* (Яшин И.М., 2013).

5.1.5. Метеорологические станции нового поколения в системе ОВОС

Метеорологические станции нового поколения активно внедряются в экологические изыскания. *В различных континентах земного шара* станции подобного типа используются, например, при изучении *эмиссии газов* в ландшафтах в связи с глобальным изменением климата. В Германии (г. Мюнхеберг), в частности, такие инновационные устройства совмещены с *новым типом лизиметров для оценки загрязнения почвенных растворов*.

Добываемая информация передается в специальный павильон, где с помощью компьютеров она анализируется (рис.21, 22). При масштабных антропогенных нагрузках значение и функции таких станций существенно возрастают. Ниже мы рассмотрим особенности их работы.

Сейчас же хотим обратить внимание на оценку почв, поскольку важно точно знать, *в каких условиях будет проходить трансформация экотоксикантов*? Почвы мы рассматриваем *на двух уровнях организации и познания*: *профильном (почвенном) и экосистемном*. В последнем случае почвы являются незаменимым компонентом и продуктом функционирующей экосистемы. Важно понять, что без биоты не может быть никакой почвы. Без биоты также невозможна и эволюция почв (хотя пестрота почвенного покрова, например в лесах, неразрывно *связана с ветровалами, рубками, лесными пожарами*). Поэтому увлечение *субстантивным подходом* (оценкой генезиса почвы по морфологии и физико-химическим свойствам) при диагностике и классификации почв свидетельствует только об одном – уровне понимания изучаемого объекта – почвы как подсистемы. Еще Sprengel C. в 1837 г. впервые опубликовал учение о почве, затем В.В. Докучаев позже находит более точный - генетический подход к объяснению географии и генезиса почв. Мы пытаемся только привлечь внимание читателей к данной проблеме.

Чем же был вызван субстантивный подход при классификации почв? Он был вызван, по-видимому, излишним «увлечением» диагностикой почв сельскохозяйственных угодий. Почвоведы хорошо знают, что почвы полевых агроландшафтов тайги «*развиваются*» *без растительности* (за исключением участков под многолетними травами), при активизации процессов оглеения, водной миграции, эрозии, а в аридных условиях - засоления. Возделываемые культуры в агроландшафтах Европейского Севера функционируют от 2 до 3,3 месяцев, ежегодно извлекая из почв огромные массы доступных форм элементов питания. Отсюда вполне понятно и обосновано применение удобрений и травосеяния. *Влияние биоты на процессы почвообразования и свойства почв агроэкосистем изначально учитывались и оценивались неполно.* Поэтому подобрать эффективные приемы улучшения почв трудно.

И что самое главное - подобный подход увлечения пахотными почвами априори переносился на огромные *ландшафты тайги, смешанных лесов и лесостепи,* в которых исключительно важная роль в генезисе почв *принадлежит биоте* и продуктам её жизнедеятельности. Например, хвойные таёжные леса в автономных ландшафтах Европейского Севера задают биогеохимический вектор формирования почв подзолистого типа. Вырубая леса, человек способствует активному заболачиванию почв подзон средней и северной тайги. Другой пример, связанный *с генезисом кислотности*. До сих пор кислотность изучается на уровне подсистемы в таёжном ландшафте: почва – почвенный горизонт (и образец). *Экологические функции таёжной биоты при оценке кислотности практически даже не рассматриваются*. А

ведь зря: данный фактор неразрывно связан с мобилизацией в растворимое состояние ионов ТМ антропогенного генезиса, которые негативно воздействуют на биоту, например, хвойные породы. *А кислоты выступают одним из экологических механизмов детоксикации ионов ТМ*.

Немецкие специалисты (лесоводы, почвоведы, экологи), например, давно озабочены масштабной гибелью *лесов в географической провинции «Schwarzwald»*. Предполагалось, что этот феномен связан с *«кислотными дождями»*, хотя здесь осталось еще много загадок. В этой связи немецкими специалистами из Баварского института Леса проводятся инновационные изыскания в ландшафтах с использованием климатических станций (иногда их для краткости именуют «вышки»). Подобные сложные технические устройства представляют собой интегральные метеорологические и гидрологические измерительные станции с новейшим уровнем электронной техники, автоматики с выводом результатов наблюдений на компьютер. Затем эти данные могут очень быстро достичь центрального сервера в другом городе через спутник связи, систематизированы и использованы по назначению.

Только в одной Германии в 80-х годах прошлого столетия были реализованы *научные гранты на сумму 365 млн. DM*. С помощью измерительных станций специалисты пытались объяснить масштабную гибель лесов в Центральной Европе. Новую информацию по этой проблеме баварским специалистам удалось получить на основе разработанных ими *станций лесного климатического мониторинга*, работающих автономно в автоматическом режиме. При этом немецкие ученые активно сотрудничают со специалистами НИИ и университетов России. Так, в 1992-1993 гг. в рамках Демонстрационного проекта «Станция лесного климатического мониторинга в Центрально-лесном государственном биосферном заповеднике Тверской области» немецкие исследователи установили климатические станции и помогли оборудовать приборами лабораторию факультета Почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

Что же представляют собой подобные станции наблюдения за климатом и *химическим загрязнением ландшафтов с технической точки зрения*? Какие параметры измеряются и с помощью, каких датчиков? Метеорологические параметры измеряются приборами, которые крепятся на отдельно монтируемой прочной телескопической антенне (с растяжками) высотой 10-30 метров. Для измерения температуры, например, используется термоэлектрический датчик (1/3 DIN) Pt 100, для определения влажности воздуха – специально обработанный пучок волос, суммарная солнечная радиация измеряется при помощи пиранометра, направление и скорость ветра – с помощью необогреваемого комбинированного датчика ветра (чашечный круг и флюгер) с оптико-электронным считывающим устройством. Источником энергии служит, в частности, солнечная батарея. Осадкомер в этой станции может действовать без механического взвешивания порций осадков до минус 30^0 С.

Работает автоматическая метеостанция следующим образом. Даталоггер, находящийся в отдельном небольшом шкафу, на антенне, каждые несколько секунд опрашивает все сенсоры метеорологического комплекса. Полученные значения

обобщаются за 15 минут в форме средних, экстремальных величин или их сумм и записываются в память компьютера. Только измерения весового осадкомера предварительно обрабатываются своим собственным процессором (температурная компенсация, поправка на линейность и интегрирование 5-ти минутных сумм), а затем поступают в логгер, на чипкарту, имеющую память 256 и более Мб. Такой режим работы рассчитан на 7 недель. С логгером связано устройство, регулирующее потребление станцией электрической энергии, которая генерируется в солнечной батарее и затем поступает в аккумуляторные батареи, снабжающие электричеством всю климатическую станцию. Потребление электроэнергии станцией происходит при напряжении примерно 6 вольт и силе тока 32 mA. Аккумуляторы обеспечивают непрерывную работу станции в автоматическом режиме без солнечного света 14 суток. При отключении источника энергии вся накопленная информация сохраняется.

Мы рассмотрели одну из современных инновационных технологий при оценке экологической ситуации ландшафтов. *Другой, не менее актуальной*, является разработка инженерами на лизиметрической станции в г. Мюнхеберге (50 км от Берлина) инновационных лизиметров в комплектации со *станцией лесного климатического мониторинга*. На сайте www.ugt-online.de можно узнать более полную и полезную информацию. Уместно отметить, что один из авторов данной книги побывал в декабре 2011 г. на станции инновационных лизиметров, ознакомился с их комплектацией, установкой лизиметров в почву и их функционированием. Доктор Манфред Зейфарт (один из ведущих специалистов данного проекта) обстоятельно консультировал нас по техническим вопросам, разрешил спуститься в лизиметрическую «шахту» и объяснял работу многочисленных датчиков и сенсоров (фото 21). Он, например, отметил, что получаемая информация о почве, атмосфере и почвенных растворах в автоматическом режиме обрабатывается и передается в специальный (близлежащий) павильон. Нам показали этот павильон, где в компьютере формируется информационная база данных об экологическом состоянии ландшафта: атмосфере, почвах и лизиметрических водах. При этом важную роль играет мониторинг за трансатлантическим переносом воздушных масс и их химических соединениях. Рассмотренные нами технические устройства, например, уже функционируют в Берлине, контролируя экологическую обстановку в конкретном районе мегаполиса. Новые возможности открываются также и при применении ГИС в почвоведении, экологии и географии (Ю.Г. Пузаченко, 2003, 2007). Цифровые (электронные) карты имеют известные преимущества перед бумажными носителями и востребованы, наряду с GPS навигаторами, разными специалистами: космонавтами, археологами и топографами, военными, экологами, земледельцами и лесоводами, гидрологами и геологами.

Рис. 21. Посещение лизиметрической станции в г. Мюнхеберге (Германия), где конструируют лизиметрические устройства *нового поколения*, работающие совместно с климатической станцией и компьютером. На фото проф. Яшин И.М. и доцент Таллер Е.Б. внимательно слушают объяснение доктора Манфреда Зейфарта (декабрь 2011).

Уместно отметить, что кафедра экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева выиграла грант Правительства РФ, закупила по гранту несколько подобных станций, которые функционируют с 2011 года в автоматическом режиме как на территории университета, так и в ЦЛГПБЗ в Тверской области (на болоте и в лесах).

Рис. 22. Лизиметрическая станция в г. Мюнхеберге (Германия): телескопическая антенна и приборы, оценивающие состояние атмосферного воздуха и почвы; **около антенны** – вход в шахту, где находится инновационный лизиметр с датчиками (фото Яшина И.М., декабрь 2011 г.).

Это поможет лучше знать процессы, происходящие в почвах на этапе экологической экспертизы объекта при ОВОС.

5.1.6. **Методология оценки химического загрязнения экосистем**

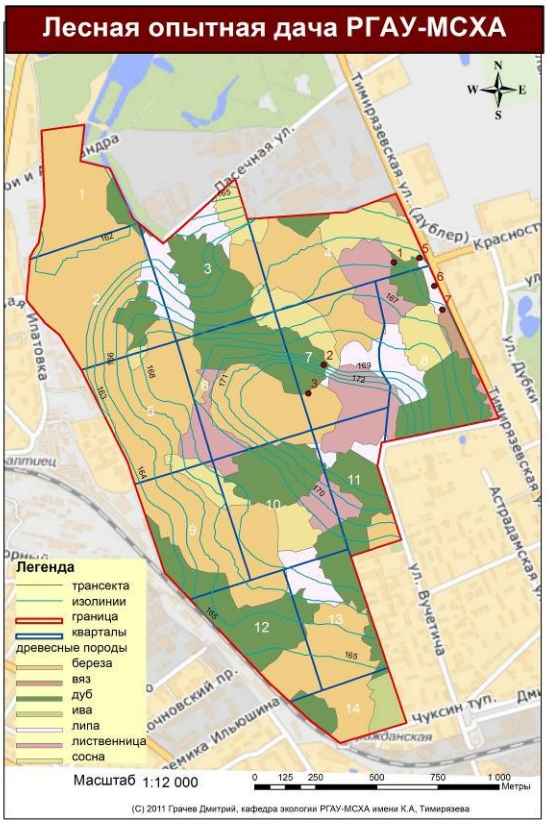

Рис. 23. Карта - схема территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (М 1: 12 000) и участки снеговой съемки в конце марта 2011 г. (№ **1-3, 5-7**): дизайн карты аспиранта кафедры экологии **Грачева Дмитрия** (фото Яшина И.М., 2011).

Для оценки эко-геохимической ситуации и запасов снега были использованы методы оперативного мониторинга на Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и на стационаре в таежном лесопарке Петрозаводска (рис. 23 и 24).

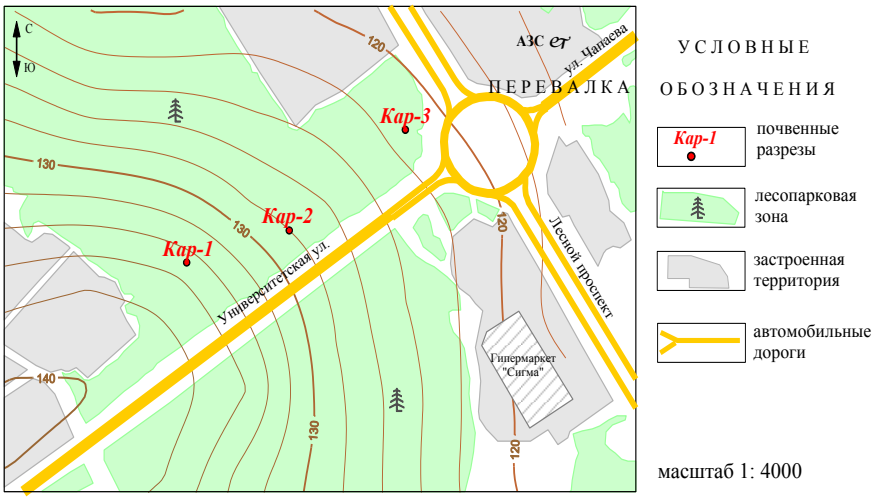

Рис. 24. Карта-схема в М 1:4 000 (абс. отметка плакора 141 м над у.м.) таежного лесопарка Петрозаводска Карелия. Изучаемые фации и места установки в профилях подзолов на двучленах **сорбционных лизиметров** (в почвенно-геохимической катене) обозначены как **Кар-1, Кар-2 и Кар-**3; дизайн аспиранта кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Петра Кузнецова (фото Яшина И.М., 2010).

Перед аналитическим определением химических элементов в лесных подстилках, растительном опаде, мхах и лишайниках их пробы предварительно озоляются, а остатки растворяются в аликвотах 1н. HNO_3. Известно, что в *крупных городах мусоросжигательные заводы и ЦБК* являются источниками ртути, диоксинов и бенз[а]пирена. Важную роль в этих процессах играют аэральные выпады «кислотных дождей», сажи, пыли и др., которые можно оценить по снеговой съемке или с помощью методов биоиндикации поврежденных растений и почвенных живых организмов. Указанные особенности состояния экосистем тайги способствуют загрязнению ягод, грибов и растений клюквы, брусники, морошки..., широко *используемых в пищу и народной медицине*. В изменении экологического состояния почв и экосистем *участвуют антропогенные и природные* (эколого-геохимические) факторы. Их аддитивное действие заметно интенсифицирует исчезновение многих видов растений и животных в ландшафтах земного шара. Патогенные микроорганизмы получают более быстрый доступ к человеческой популяции, минуя биологические барьеры иных живых организмов.

Для оценки загрязнения, например, почв применяется показатель суммарного загрязнения $J_{зп}$ по числу изученных экотоксикантов (Ю. Сает, 1993):

$$J_{зп} = \Sigma k_н - (n-1) \qquad (27),$$

$J_{зп}$ – индекс суммарного загрязнения почвы, например, тяжелыми металлами,
$k_н$ – коэффициент накопления тяжелых металлов (ТМ) в почве, который рассчитывается на основе фактических данных: $k_н = m_{тм\ в\ загр.\ почве}/m_{тм\ в\ фоновой\ почве}$, иначе этот коэффициент называется коэффициентом технофильности.
(n-1) – эмпирический параметр; здесь n - число изучаемых ТМ.
На основе выражения (1) была составлена оценочная шкала загрязнения почв: **0-32** – почва не загрязненная экотоксикантами (благоприятные условия для жизни биоты и возделывания культурных растений);
32-64 – почва слабо загрязненная (возможно слабое загрязнение кормов и продуктов растениеводства, у людей проявляются аллергии);
64-128 – почва средне загрязненная (корма и продукты питания будут активно загрязнятся и опасны для людей и животных; экологические эндемии);
Более 128 – загрязнение сильное (выращивание с.-х. культур запрещено, возделываются сидераты и многолетние травы с целью фиторемедиации).

Выражение (27) является частным, поскольку при оценке загрязнения учитывается только один компонент экосистемы – почва. Этого недостаточно с экологических позиций. Нами предложена формула (28), которая отражает не только совокупность изученных экотоксикантов, но и основные компоненты экосистемы: почву, биоту, аэральные выпады (по снеговой съемке), а также масштаб водной миграции загрязнителей

(отчуждаемую массу мигрантов). Причем, вместо выражения (n-1) мы вводим другой математический параметр: (1+ (n/n-1)). Он равен примерно 2 и его следует прибавлять к индивидуальному коэффициенту при оценке загрязнения выше указанных компонентов экосистемы. Отметим, что при диагностике загрязнения биоты рассчитываются индивидуальные коэффициенты биогенного накопления $k_{бн}$ загрязнителей - в растениях, опаде, слоях лесной подстилки и корнях, которые суммируются и получается общий коэффициент биогенного накопления $k_{бн}$ экотоксикантов в биоте. В подзолах, развитых на двучленных породах, содержание химических загрязнителей учитывается не в одном (верхнем) горизонте, как при агрохимических изысканиях, а во всем профиле мини подзола (данная масса почвы активно участвует в биогеохимическом круговороте – биогенной и водной миграции).

Предлагаемая нами интегральная оценка химического загрязнения экосистемы по индексу суммарного загрязнения компонентов экосистемы рассчитывается по выражению (28) – Яшин И.М. и др. (2012):

$$\mathbf{J_{зэ}} = \Sigma k_{зб} + (1+ (n/n-1)) + \Sigma k_{зп} + (1+ (n/n-1)) +$$

$$\Sigma k_{зс} + (1+ (n/n-1)) + \Sigma_{kмиг} + (1+ (n/n-1)) \qquad (28),$$

Рис. 25. Стационарная площадка на вырубке в таежном лесопарке Петрозаводска (Карелия). Огромные муравейники – одна из загадок этого ландшафта вблизи крупной автомагистрали и значительных потоках экотоксикантов. На начальном этапе локального мониторинга (2002 г.) муравейников здесь было мало и они были в несколько раз меньше; в 2012 г. муравьи почему-то покинули этот «домик» (фото Яшина И.М., 2008).

где $\mathbf{J_{зэ}}$ – индекс суммарного загрязнения экосистемы (по количеству изученных ее компонентов – почв, растительности, вод, снега, водной миграции),

$\blacksquare$ $\mathbf{k_{зб}}$ + (1+ (n/n-1)) – суммарный коэффициент химического загрязнения биоты (растений, лесной подстилки, растительного опада и корней), например, ионами тяжелых металлов (ТМ) - Pb^{2+}, Hg^{2+}, Cd^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}; здесь n = 9; данный коэффициент определяется при изучении биогенной продуктивности экосистем,

$\blacksquare$ $\mathbf{k_{зп}}$ + (1+ (n/n-1)) - суммарный коэффициент химического загрязнения почвы, как компонента и продукта экосистемы, теми же ТМ,

$\blacksquare$ $\mathbf{k_{с}}$ + (1+ (n/n-1)) – химическое загрязнение снега аэральными выпадениями в условно абиотический период (при очень слабых эвапотранспирации и фотосинтезе в зоне тайги); концентрацию экотоксикантов в талой воде следует умножить на массу воды (согласно запасам снега на 1 $м^2$), чтобы получить искомую массу загрязнителей на единице площади. Выделяют растворимые формы, например ТМ, и остающиеся на плотном бумажном беззольном фильтре (взвеси). Эти сведения важны при оценке миграционных параметров экотоксикантов в профиле почвы,

$\blacksquare$ $\mathbf{k_{миг}}$ + (1+ (n/n-1)) - суммарный коэффициент водной миграции и химического загрязнения лизиметрических вод почвенного индивидуума экосистемы. Он отражает долю наиболее миграционно способных форм экотоксикантов. Для ионов ТМ – это органо-минеральные комплексные соединения. Возможен также их вынос в составе коллоидов переходных металлов под «защитой» компонентов ВОВ с кислотными свойствами. $\mathbf{k_{миг}}$ определяют с помощью метода сорбционных лизиметров. Учитывать необходимо также коэффициент мобилизации $\mathbf{k_{моб}}$ химических элементов в реальной экосистеме из твердой фазы в растворимое состояние. Напомним, *ТМ в форме оксидов практически не токсичны для биоты.*

Наряду с миграцией веществ в насыщенных водой почвах важную (и специфичную) роль[7] играет диффузия. Этот процесс протекает круглый год и, в отличие от сорбции, приводит к рассеиванию ионов, молекул, радикалов из микрозон локального сосредоточения веществ на сорбционных барьерах по всему объему генетических горизонтов. Диффузия способствует *сегрегации ионов Fe, Mn и молекул фульвокислот* в конкреции при оглеении, куда стягиваются и ионы ТМ. Движущими силами диффузии являются: градиент концентрации, разность химических потенциалов элементов и гидротермический градиент. Данный параметр в почве можно выразить через произведение концентрации вещества (моль·$л^{-1}$) на скорость его направленного перемещения (v_1 – м·$с^{-1}$) через заданную площадь сечения миграционного потока S ($м^2$) за время t (с).

Атмосферные потоки в городах и промышленных центрах (равно как и вблизи них – в соответствии с розой ветров) сильно запылены. По сведениям Ю.Е. Саета (1988) и М.А. Глазовской (1988) запылённость

[7] Особенно в почвах, испытывающих устойчивое или временное сезонное переувлажнение. Данные о водной миграции веществ следует дополнять информацией об их диффузии [20, 24].

промышленных городов центра Русской равнины составляет 50-150 кг/км^2 в сутки, а в фоновых лесных ландшафтах она в 5-10 раз меньше. Тонкодисперсные частицы пыли способны поглощать аэрозоли, содержащие новообразованные минеральные кислоты (H_2SO_4, HNO_3...), а также химические элементы с высокими кларками – Fe, Mn, Zn, Cr и Cu. Более токсичные тяжелые металлы – Cd, Pb, Hg, Sb, а также As обычно находятся в паро-газовой фазе аэрозолей. Среди других поллютантов особую опасность для биоты представляют *полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), а среди них, например, 3,4-бензпирен, формальдегид, оксиды S, N, P и галогены*. Указанные загрязнители довольно эффективно диагностируются в зимний период, при оценке снегового покрова (рис 26.).

После отбора, таяния и подготовки проб снега в лаборатории, исследуются вещества в двух фазах: первая – растворенная, прошедшая через фильтры с диаметром пор менее 0,45 мкм (приём ультрафильтрации) и вторая – оставшаяся на фильтре, которую затем полностью растворяют в сильных минеральных кислотах (здесь сосредоточены химические элементы во взвесях и коллоидах). Определив аналитические концентрации изучаемых

Рис. 26. Лесная опытная дача РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: определение запасов и отбор снега для гидрохимического анализа загрязнителей (фото Яшина И.М., конец марта, 2011).

элементов, *рассчитывают их массы и коэффициенты накопления*. По эффекту воздействия на почвы и экосистемы токсичные химические элементы, содержащиеся в техногенных продуктах, могут быть дифференцированы на две группы: первая – биогеохимически активные соединения. Вторая – трофические мигранты.

В первом случае техногенные продукты, сорбируясь гумусом, *коллоидами и вторичными минералами генетических горизонтов почв, изменяют кислотно-основные параметры, окислительно-восстановительный потенциал, соотношение металлов по фракциям гуминовых и фульвокислот и т.д. Эти изменения в основном вызывают элементы с высокими Кларками и слаботоксичные – Fe, Mn, Ca,*

Mg, Na, NH_4^+, ... и анионы сильных и слабых минеральных кислот. Со временем и эти компоненты могут вызывать нарушения природных экосистем, что отразится на микрофлоре и почвенных животных. Поэтому так актуален ***метод биоиндикации****, но его нужно проводить не в чашках Петри – в лаборатории, а в сорбционных лизиметрах – в почвах экосистем.*

Во втором случае на почву действуют высокотоксичные элементы (и вещества): Be, Hg, As, Cd, Se, ..., диоксины, опасность влияния которых реализуется не столько в изменении свойств почв, сколько в их биогенной миграции, попадании, например, в трофические цепи и живые организмы, где они аккумулируются и вызывают негативные изменения в биохимических реакциях, циклах обмена веществ и энергии.

Содержание токсичных химических элементов в ландшафтах в настоящее время нормируется обычно путём сравнения трёх показателей:

1) почвенно-геохимического фона,

2) Кларков литосферы (кор выветривания и почвообразующих пород),

3) предельно допустимых концентраций – ПДК (точнее их масс – И.Я.) для конкретных элементарных геохимических ландшафтов.

При этом нельзя использовать *одни и те же значения ПДК для разных географических зон.* На наш взгляд, оценка ПДК* затрагивает весьма высокий уровень организации веществ в ландшафтах. Действие же экотоксикантов и, в частности, экологическое нормирование ПДК и загрязнений следует начинать с наиболее чутко реагирующих в экосистеме групп живых организмов – микроорганизмов, червей, пчёл, лишайников и других видов. Эффективными (наряду с биоиндикацией загрязнителей) могут оказаться смывы водой поллютантов *из коры деревьев и лесных подстилок,* которые являются активными сорбентами различных антропогенных веществ – сажи, «кислотных дождей», аэрозолей, содержащих, в частности, ТМ, радионуклиды. При этом целесообразно различать уровни содержания и уровни загрязнения почв (табл.4).

Табл. 4. Шкала экологического нормирования тяжёлых металлов для почв со слабо- и кислой реакцией среды (Зырин, Обухов, 1988).

Градации	Содержание, мг/кг					
	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Hg
1. Уровень содержания:						
– оч. низкий	< 5	< 0,05	< 15	< 5	< 10	< 0,05
– низкий	5-10	0,05-0,1	15-30	5-15	10-20	0,05-0,1
– средний	10-35	0,1-0,25	30-70	15-50	20-50	0,1-0,25
- повышен.	35-70	0,25-0,50	70-100	50-80	50-70	0,25-0,50
– высокий	70-100	0,5-1,0	100-150	80-100	70-100	0,5-1,0
– оч. высок.	100-150	1-2	150-200	100-150	100-150	1-2
2. Уровень загрязнения						
– низкий	100-150	1-2	150-200	100-150	100-150	1-2
– средний	150-500	2-5	200-500	150-250	150-300	2-5
– высокий	500-1000	5-10	500-1000	250-500	300-600	5-10

* Недостатки критерия ПДК связаны с отсутствием опытных данных для расчета этого параметра. ПДК не может быть одинаковым для разных почв и разных экосистем.

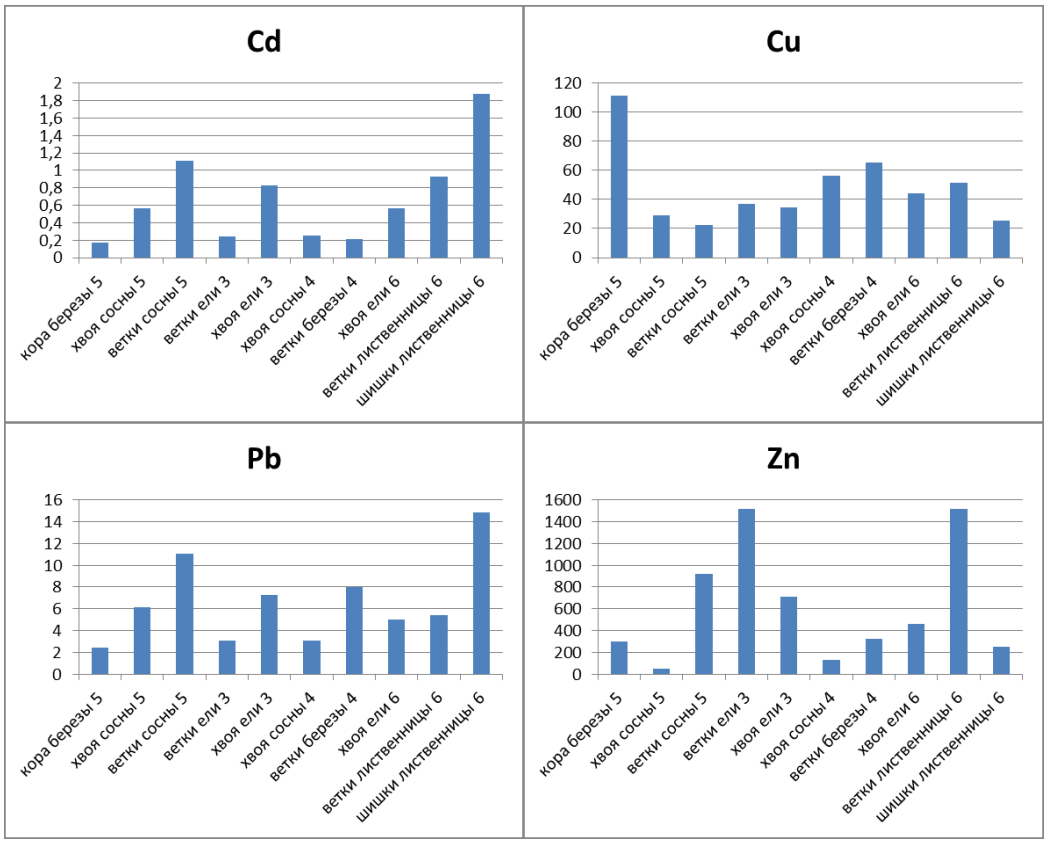

Рис. 27. Содержание тяжелых металлов (мг/л) в водных вытяжках из вегетативных органов растений. Отбор проб в конце марта 2011 года.

Наиболее чётко особенности загрязнения можно выявить по оценке состава ТМ в твердой фазе снегового покрова. Исследования ряда авторов показали, что при движении от центра промышленного города (г. Москвы) к периферии концентрация ТМ снижается, но всё равно остается в 2-8 раз больше, чем в почве.

Исходя их полученной нами информации можно заключить, что в верхних горизонтах (0-23 см) дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА миграция тяжелых металлов (ТМ) происходит, в том числе, и в форме устойчивых органоминеральных соединений.

Движущими силами миграции ТМ являются, в частности, мобильные (*низкомолекулярные) органические лиганды* – продукты жизнедеятельности высших и низших растений, ферменты и органические кислоты микроорганизмов (в том числе и плесневых грибов), корневые выделения растений, а также органические вещества – продукты трансформации гумусовых веществ почвы и растительных остатков.

Табл. 5 Валовое содержание тяжёлых металлов, микроэлементов и Sr в подзолах лесопарковой катены Петрозаводска в 2008 г., мг/кг.

Почвенный горизонт (и объекты)	Глубина отбора, см	Химические элементы								
		MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	SrO	CdO	HgO	PbO
Подзол иллювиально-железистый под ельником мертвопокровным (разрез Кар-1)										
$A_0^т$	3 – 7	190	4,3	12	7,0	12	210	0,21	**0,114**	13
Eh	9 – 14	220	4,6	11	6,5	16	260	0,05	0,011	13
Bf	20 – 30	310	11	27	9,3	32	260	0,09	0,013	9,7
El'g	41 – 46	280	8,9	20	14	22	290	0,11	<0,002	11
El'g/Bg	53 – 59	330	12	21	17	30	310	0,06	0,004	11
Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником сфагновым (разрез Кар-2)										
$A_0^т$	0-2	Не опр.	Не опр.	Не опр.	**48**	**88**	Не опр	**0,43**	Не опр.	**145**
$A_0^т$	2-5	Не опр.	Не опр.	Не опр.	7,4	21	60	0,22	Не опр.	9,1
$A_0^{тп}$	5-11	190	10	**54**	**15**	12	47	0,11	**0,322**	**27**
Eh	20-26	320	11	23	13	30	260	0,08	0,006	9,1
Bftr	31-37	290	11	23	16	32	270	0,08	0,022	10
El'g	43-53	350	15	32	10	<10	290	0,09	0,004	10
El'gtr/B2g	60-70	440	19	35	32	38	270	0,08	0,013	11
Подзол контактно-глееватый под ельником разнотравно-зеленомошным (разрез Кар-3)										
Eh	10-20	400	10	24	12	28	230	0,16	0,032	15
Elg	30-40	650	20	36	9,3	39	250	0,09	0,016	11
Bf_{tr}	44-55	430	15	28	17	38	240	0,07	0,018	10
El'gtr	59-69	370	17	37	20	25	240	0,1	0,02	12
$A_0^т$ после отмывки в воде	---	Не опр.	Не опр.	Не опр.	**21**	**34**	Не опр.	**0,11**	Не опр.	**58**
Зелёные мхи (2004, Кар-2)	—	221	Не опр.	4,8	**12,2**	**66**	Не опр.	**0,19**	Не опр.	**9,4**
Хвоя ели (2004, Кар-2)	--	223	Не опр.	3,7	**5,6**	**26**	Не опр.	**0,12**	Не опр.	**6,2**
Разнотравье о. Кижи; Р.2.	—	47	Не опр.	5,5	**9,0**	**73**	Не опр.	**0,66**	Не опр.	**0,4**
О. Б. Соловецкий, Р. 48я	гор. Е (4-14см)	Не опр.	Не опр.	0,6	**1,1**	**1,5**	Не опр.	**0,02**	Не опр.	**0,2**
ПДК в почве		1500	Нет	85	55	100	нет	0,5	2,1	32

5.1.7. Дистанционное зондирование экосистем

К дистанционным относятся <u>три группы методов</u>: визуальные наблюдения с низко летящих самолета или вертолета, пассивная аэросъемка (кино- и фотосъемка) и активное дистанционное зондирование, например, радиолокация ландшафтов.

Аэровизуальные наблюдения применяются при рекогносцировке объекта изысканий (перед началом полевых работ), осмотре труднодоступных участков, уточнении результатов дешифрирования аэрофотоснимков, заключительном облете территории, где осуществлялось картографирование ландшафтов.

Аэрофотосъемки делятся по масштабу: мелкомасштабные (М 1:100000 и меньше), среднемасштабные (М 1:50 000–300 000), крупномасштабные (М 1:10 000–1:25 000). Космические снимки выполняются в масштабе М 1:200 000–10 000 000. Чем мельче масштаб съемки, тем больше охват территории и тем менее подробной будет специальная карта.

Методы дистанционного зондирования относятся к быстродействующим автоматизированным системам сбора и обработки информации о компонентах ландшафтов. С их помощью можно точно устанавливать структуру и динамику ландшафтов, выявлять положительные и негативные аспекты антропогенеза, эффективно решать задачи экологического мониторинга. В значительной мере получение подобных сведений связано с *умелым дешифрированием аэрофотоснимков:* раскрытием конкретного содержания контуров. Дешифрирование может быть почвенным, геоботаническим, топографическим, геоморфологическим; оно также нередко бывает и комплексным – ландшафтным, если в ходе дешифрирования выделяются природно-территориальные комплексы.

В системе ОВОС нередко приходиться сочетать детальное экологическое картирование в М 1: 500 с крупномасштабной съемкой.

Полевые изыскания при ОВОС сопряжены *с аналитической диагностикой* различных *токсикантов* в компонентах ландшафтов: почвах, продукции животноводства и растениеводства, природных водах и воздухе.

Рассмотрим лабораторные методы в системе ОВОС.

5.2. Лабораторные методы в системе ОВОС

Прежде чем перейти к аналитическим методам оценки токсикантов в системе ОВОС, целесообразно охарактеризовать формы миграции химических элементов в ландшафтах.

Формы миграции химических элементов

На схеме 21 представлены основные агрегатные состояния веществ и формы их миграции в ландшафтах.

Рассматриваются *три формы миграции веществ* в ландшафтах, движущей силой которых, является природная вода: *во взвесях, в форме истинно-растворимых и коллоидных соединений*.

Каждая из этих форм подразделяется в зависимости от химического состава и характера мигрирующих соединений.

Во **взвешенном состоянии** могут мигрировать различные тонкодисперсные частицы (пылеватые, илистые), первичные, вторичные минералы и органические вещества (детрит, растительные остатки), адсорбированные на минерах гумусовые вещества, а из химических элементов – золото, ванадий, главным образом, в речных и других природных водах, открытых водных бассейнах – озерах, водохранилищах.

В почвах широко представлены **ионные формы миграции** веществ в виде катионов (K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH_4^+ и др.) и анионов (SO_4^{-2}, Cl^-, NO_3^- и др.).

Среди веществ, мигрирующих в форме истинных растворов, особое значение имеют *комплексные соединения*, в которых лигандами могут выступать как неорганические, так и органические компоненты. Последние представлены веществами неспецифической и специфической гумусовой природы (И.С. Кауричев, 1965; И.М. Яшин, 1993, 2013).

Коллоидно-растворимые формы соединений Fe, Al и Si также широко участвуют в водной миграции, особенно в ландшафтах тайги.

Рис. 21. Формы миграции веществ в ландшафтах (традиционная схема)

При изучении генезиса различных типов почв экологи и почвоведы подробно рассматривают все указанные формы миграции веществ*: формирование профиля солонцовых почв, лессиваж, роль и активное участие органно-минеральных соединений в миграции и трансформации веществ при подзолообразовании. С ионными формами восходящей миграции водорастворимых солей связано развитие солонцового процесса и, в частности, современная деградация черноземов.*

5.2.1. Физико-химические методы, используемые при ОВОС

(аналитические методы индикации ксенобиотиков в воде, воздухе, почвах)

Отметим, если содержание загрязнителей превышает **1%** (в почвах, растениях и иных объектах ОВОС), следует применять традиционные *химические методы диагностики токсикантов*. Физико-химические методы удобны при определении очень низких концентраций ТМ и иных загрязнителей.

В настоящее время широко используются 4 группы методов:

1. *спектральные (и иные оптические),*
2. *электрохимические,*
3. *хроматографические и*
4. *термические методы (дифференциально-термический анализ).*

Наиболее важной в практическом отношении является группа *спектральных методов.* Она *включает методы эмиссионной атомной спектроскопии, атомно-абсорбционной спектроскопии, инфракрасной спектроскопии, спектрофотометрии, люминесценции* и т.д. Эти методы основаны на измерении различных эффектов при взаимодействии вещества с электромагнитным излучением.

При изучении поведения токсичных химических элементов в компонентах ландшафтов используют *специальные передвижные эко-геохимические лаборатории без отбора проб почвы, воды, растений с автоматической записью* результатов на компьютер. Подобные изыскания в экосистемах при ОВОС весьма эффективны. Кстати, подобная лаборатория имеется на кафедре экологии с 2012 года; она активно используется по гранту Правительства РФ по эмиссии газов.

Так, инфракрасная спектроскопия позволяет решать следующие основные вопросы:

1. исследование строения соединений, т.е. диагностика различных функциональных групп и даже фрагментов молекул,
2. установление идентичности соединений,
3. контроль за ходом реакций и
4. изучение внутримолекулярных или межмолекулярных взаимодействий.

Потенциометрия основана на определении точки эквивалентности по результатам потенциометрических измерений. Вблизи точки эквивалентности при титровании происходит резкое изменение (скачок) потенциала индикаторного электрода. Реакции потенциометрического титрования, как и иные титрометрические методы, должны протекать строго стехиометрически, иметь высокую скорость и идти до конца (Яшин И.М., 1993).

Полярографический метод (электрохимический) отличается высокой точностью и используется для диагностики низких концентраций химических элементов в природных водах. Но для проведения полярографических анализов необходимы хорошо оборудованная лаборатория, сложное дорогостоящее оборудование и высокая квалификация специалистов. Метод связан с явлением поляризации.

Атомно-абсорбционный спектральный анализ в почвенно-экологических исследования стал применяться сравнительно недавно. В 1955 г. его предложил Уолци. Особая ценность метода заключается в том, что из одного раствора (после разложения образца почвы, породы, растительной пробы) можно определить примерно 70 химических элементов. Для десорбции ионов Zn, Cu, Pb, Cd, Ca из образцов почв широко используют водный раствор 1 н. HNO_3, который элюирует 70...90% (от общего количества) ионов тяжелых металлов, находящихся в обменно-поглощенных и иных формах. Достоинства метода: высокая чувствительность, избирательность, производительность, воспроизводимость результатов, простота выполнения анализа.

Принцип метода состоит в том, что образец переводят тем или иным способом в раствор, аликвотную часть которого помещают в камеру атомно-абсорбционного спектрофотометра, где раствор диспергируется и испаряется с помощью пламени. Температура ацетилен-(пропан) кислородного пламени достаточно высока, чтобы перевести большую часть раствора в атомарное состояние (t~2000 ^oC). Пар в камере освещается источником света (обычно специальной лампой с катодом того элемента, который и определяют в опыте). По измеренной энергии, дошедшей до детектора, количественно устанавливают содержание конкретного элемента.

Инфракрасная спектроскопия позволяет решать следующие основные вопросы: 1. исследование строения соединений, т.е. диагностика различных функциональных групп и

даже фрагментов молекул, 2. установление идентичности соединений, 3. контроль за ходом реакций и 4. изучение внутримолекулярных или межмолекулярных взаимодействий.

Исследования показывают, что в спектрах органических веществ имеется некоторое число общих или мало отличающихся частот 3700...600 $см^{-1}$. Подобные частоты, появляющиеся в спектре при наличии в соединении конкретных функциональных групп (независимо от того, каким молекулам они принадлежат), получили название *характеристических.* К ним относятся, например валентные колебания связи С–Н, С=О, С=С, О–Н, колебания групп $-NH_2$, $-COO^-$. ИК-спектры можно получить для любого агрегатного состояния вещества.

Ультрафиолетовая спектроскопия и спектроскопия в видимой области позволяет определить: 1. строение молекул веществ и наличие в них определенных функциональных групп, имеющих обычно кратные связи, – хромофоров (они вызывают поглощение в области от 200 до 1000 нм; это С=С, С=О, N=O, N=N, S=O, SO_2, NO_2, P=O и другие; 2. концентрацию вещества на основании закона Бера, который отражает связь между поглощающей способностью слоя вещества d и его концентрацией С в растворе.

Методы кондуктометрии (анализы веществ по электрической проводимости растворов) в различных растворителях давно привлекали внимание специалистов-аналитиков. В настоящее время кондуктометрические измерения не утратили своей актуальности. Для титрования используют «мостик» Уитстона, питаемый переменным током с частотой 1000 Гц (он вырабатывается звуковым генератором). Есть и компактные приборы типа «Импульс». При кондуктометрическом титровании можно изучать ряд процессов и реакций: кислотно-основного взаимодействия, осаждения, комплексообразования, окисления-восстановления. Важное практическое значение имеет кондуктометрическое титрованием катионов (допустим, Fe^{3+}) раствором ЭДТА. Эта реакция на 1-м этапе сопровождается выделением протонов (H^+), однако затем – после точки эквивалентности – электрическая проводимость снижается, поскольку водородные ионы связываются анионным комплексом: отрицательный заряд уменьшается и может стать нулевым или временно даже положительным (А.И. Карпухин, И.М. Яшин, В.А., Черников, 1996).

Методы определения макроэлементов. При определении ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} наряду с объемным трилонометрическим методом широко используют атомно-абсорбционный. Влияние мешающих диагностике Ca^{2+} элементов устраняют различными приемами: разбавлением пробы и фотометрированием верхних участков пламени; применением буферирующих добавок в виде солей стронция, натрия. Установлено, что введение в пробу *спиртов повышает чувствительность* атомно-абсорбционного определения кальция и магния.

Для определения ионов железа в почвах и водах (при их высоком содержании) используют фотоколориметрический сульфосалициловый метод. Предложено раздельное изучение растворимых и коллоидных форм железа. При содержании железа в водах **менее 0,5 мг/л** его можно определять методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для определения водорастворимых форм алюминия используется модификация колориметрического метода с алюминоном.

Метод эмиссионной спектрометрии с индукционной плазмой позволяет проводить одновременное определение 24-х элементов в природных водах.

Предложен *атомно-флуоресцентный метод определения* Pb, Cu, Zn, Cd в природных водах. Метод не требует предварительного концентрирования.

Для определения ионов меди и свинца в природных водах разработан ионометрический метод. Метод использован для изучения форм миграции элементов.

Комплексные исследования состава и свойств ВОВ природных лизиметрических вод подзон южной, средней и северной тайги ЕТС выполнены И.М. Яшиным (1993). В работах автора использованы методы сорбционных лизиметров, радиоактивных индикаторов, колоночной адсорбционной, ионообменной, бумажной распределительной и гель-хроматографии. Для диагностики состава ВОВ и выделения из них индивидуальной и специфической групп органических соединений применена известная схема W. Forsyth (1947) на активированном низкозольном (животном) угле «карболен», которая была радикально модифицирована И.М. Яшиным (1973, 2005, 2013).

Геохимические методы используются в настоящее время как в традиционных геологических изысканиях при ОВОС, например, для эколого-геохимической оценки состояния городских ландшафтов и территорий, прилегающих к промышленным предприятиям, в частности, таких как Норильский горно-обогатительный комбинат, известный комбинат «Тува-кобальт», регион Курской магнитной аномалии. Основные из этих методов следующие: *литохимический, геоботанический, биогеохимический, гидрохимический, атмохимический и шлиховой. Данные методы подробно описаны в курсе «Геохимия» и нами не рассматриваются.*

5.2.2. Методы хроматографии: колоночная, ионная

Метод хроматографии разработал русский ботаник М.С. Цвет в 1903 г. При пропускании экстракта из зеленых листьев растений через колонку, заполненную тонкодисперсным порошком кальцита, и промывании петролейным эфиром он получил ряд параллельных окрашенных зон, что свидетельствовало о наличии в исходном экстракте нескольких веществ. Этот метод М.С. Цвет назвал хроматографией (от греч. хроматос – цвет).

Основу хроматографии составляет сорбция веществ в динамических условиях аналитического опыта и распределение мигрантов по стационарному слою сорбента вследствие их различной сорбируемости. Метод эффективен при ОВОС, когда нужно разделить сложную смесь веществ и выделить диагностируемое вещество или химический элемент.

Полное изучение процесса сорбции конкретного вещества на конкретном сорбенте включает 3 стадии: *кинетику, статику и динамику*. С помощью кинетики устанавливают время (ч, сут.) в течение которого устанавливается сорбционное равновесие. Можно также по специальному уравнению Бойда оценить вклад диффузии, разложив кинетическую кривую на составляющие.

Статика сорбции позволяет установить зависимость массы поглощенного вещества от его равновесной концентрации в растворе (при t^o = const), т.е. получить *изотерму сорбции* (Генри, Фрейндлиха, Лэнгмюра, БЭТ) и затем проверить ее приложимость в линейном виде к тому или иному математическому выражению. *Опыт направлен на оценку емкости сорбента*.

Ионообменная хроматография широко применяется, например, для очистки водных растворов фульвокислот и гидрозолей гуминовых кислот от ионов металлов и анионов кислот. Также и очистка природных вод.

К*олоночная адсорбционная хроматографи***я** (сорбенты Al_2O_3, активированный уголь) используется при изучении абиогенных потоков ряда химических элементов в почвах ландшафтов с помощью метода сорбционных лизиметров (И.М. Яшин, 1993). Учет мигрантов – токсикантов также перспективен и авторами широко применяется.

Аналитические приборы можно подразделить на 2 группы: приборы *подготовительного* (воронки, мерные колбы, фильтры, перегонные колбы) и *измерительного* (бюретки, аналитические весы) типов, которые включают не регистрирующие (фотоколориметры) – отсчет показаний производится визуально по шкале измерительного барабана – и регистрирующие (ИК-спектрофотометры, ЯМР-, ЭПР-спектрометры), которые выдают результаты измерений в виде спектрограмм на ленте самопишущего потенциометра.

Концентрацию веществ в инструментальном анализе определяют методами калибровочного графика, сравнения (метод стандарта) и добавок.

Физико-химические методы характеризуются различными *чувствительностью, селективностью и воспроизводимостью*. *Чувствительность* определяется интенсивностью измеряемого свойства и чувствительностью детекторов сигнала в приборе. Высокую интенсивность в зависимости от природы веществ могут иметь поглощение света растворами, линии в эмиссионном спектре элементов, флюоресценция, радиоактивность. Можно привести ряд чувствительности некоторых *инструментальных методов (по пределу обнаружения, г): фотометрия ($1\cdot10^{-6}$) < полярография ($1\cdot10^{-8}$) < флюориметрия, эмиссионный спектральный анализ, атомно-абсорбционный спектральный анализ < газовая хроматография < кинетический анализ ($1\cdot10^{-10}$) < масс-спектрометрия ($1\cdot10^{-12}$) < радиометрический анализ ($1\cdot10^{-15}$)*.

Высокая чувствительность многих методов объясняется свойствами применяемых детекторов сигнала в приборах. Так, фотоумножители реагируют на световые потоки с очень малой интенсивностью, а радиометрические счетчики – даже на отдельные элементарные частицы. Электрохимические методы (полярография, кулонометрия) имеют высокую чувствительность благодаря использованию высокочувствительных регистраторов тока и потенциала. Важным преимуществом многих инструментальных методов является их высокая *избирательность* – селективность. Например, по линиям эмиссионного спектра обнаруживают и диагностируют практически все элементы при совместном присутствии.

Правильность инструментальных методов анализа зависит от того, насколько свойство адекватно отражает состав и связано с ним определенными закономерностями. Зависимость «*состав - свойства*» требуется установить экспериментально. Для этого предварительно калибруют приборы с помощью стандартных растворов (образцов)

Определение ионов тяжелых металлов в ландшафтах при ОВОС

При определении очень низких концентраций ионов тяжелых металлов (ТМ) во многих случаях проводят *предварительное их концентрирование* из

природных объектов: лизиметрических вод, вытяжек из почв, растительности и кормов.

Методы концентрирования весьма разнообразны. Часто применяют экстракцию, характеризующуюся экспрессивностью, простотой исполнения, позволяющую достичь абсолютных пределов обнаружения $10^{-10}...10^{-13}$ г (Ю.А. Золотов, Н.М. Кузьмин, 1982). Экстракцию удобно сочетать с последующим спектральным определением элементов. В *качестве экстракционных реагентов* широко применяют дитиокарбамат, дитизон, 8-оксихинолин. Спектрохимическое групповое определение микроэлементов в водах (до 13...15 элементов) основано на предварительном концентрировании экстракцией при pH~5 оксихинолином в хлороформе и водным раствором карбамата (В.Я. Еременко, 1969; В.С. Аржанова, 1983). Среди эффективных реагентов применяют смесь хелатообразующих веществ. В работе (Yu, Lo et al., 1982) использована смесь ПДКА[8] – ДЭДТК в хлороформе для экстракции из природных вод ряда ионов тяжелых металлов.

Более простым приемом *является концентрирование химических элементов на целевых (чистых) сорбентах. В сорбционных лизиметрах* концентрирование осуществляется в течение длительного периода опыта (сезон, год). В лаборатории остается элюировать сорбированные вещества и изучить их состав и свойства соответствующими методами. Среди сорбентов применяют ионообменные смолы: катионит КУ-2 в H^+ форме для сорбции простых и сложных катионов металлов (Fe, Al, Ca) и анионит АВ-17 в OH^- форме для сорбции анионов сильных минеральных кислот, а также анионных форм металлов (Fe, Al, Ca).

При анализе природных вод используется концентрирование микроэлементов *соосаждением на неорганических, смешанных и органических* сорбентах. Среди минеральных соосадителей наиболее употребительны оксиды, гидроксиды, сульфаты металлов. *Негативным моментом* применения минеральных соосадителей является необходимость отделения определяемых микроэлементов от элемента-носителя. Преимуществом органических соосадителей является возможность удаления их из концентрата *простым озолением*, что значительно упрощает работу.

Высокий современный уровень инструментального анализа позволяет развивать *прямые методы определения микроэлементов* и ионов ТМ непосредственно в пробах воды без их концентрирования. При изучении вод Прибайкалья и Забайкалья с минерализацией до 4,0 г/л *разработан прямой метод* атомно-абсорбционного определения группы элементов (Cu, Pb, Mn, Zn, Au). Для получения атомных паров в пропан-воздушном пламени был применен графитовый электронагреваемый испаритель. Чувствительность метода в мкг/мл: для Pb – 0,004, Au – 0,008, Mn – 0,0004, Cu – 0,0015, Zn – 0,0002. Коэффициент вариации результатов 7...10%. Найдены оптимальные условия атомно-абсорбционного определения *цинка и кадмия* в водах с использованием пламени ацетилен-воздух и комбинированного атомизатора графитовый стержень-пламя. Элементы, образующие летучие гидриды (*мышьяк, сурьма, селен*), часто определяют методом атомно-абсорбционной спектрометрии с генерацией гидридов (Haring et al., 1982; Smith, 1981; Fic, Fuju, 1990).

[8] Пироллидиндитиокарбаминат аммония.

5.3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

(составление фрагмента экологической карты в системе ОВОС)

Общие положения

Что явилось предпосылкой появления ландшафтных и экологических карт?

В 60 – 70 годах двадцатого века большое внимание уделялось проведению картографических работ при территориальном размещении промышленных объектов. Результаты таких исследований отображались на картах разной тематической направленности. К концу 1975 года более **40 стран** имели свои национальные атласы и отдельные карты, отражающие природные ресурсы: климат, рельеф, почвы, растительность, гидрогеологию, месторождения полезных ископаемых... В меньшей мере издавались *ландшафтные карты*, составление которых, с одной стороны, требовало подготовки высококвалифицированных специалистов ландшафтоведов, а с другой – требовало *больших финансовых затрат* при организации полевых экспедиционных работ. В то же время ландшафтные и экологические карты интегрировано отражают реальную территориальную ситуацию и *становятся все более востребованными, в частности, при ОВОС.*

Предмет и методы экологического картографирования ландшафта при ОВОС

Экологическое картирование ландшафта – область естествознания, позволяющая установить основы формирования и эко-геохимического функционирования ландшафтов. Эти сведения могут быть использованы *для рационального природопользования, оценки антропогенной нагрузки на почвы*, природные воды и биоту, получения экологически безопасной продукции сельского хозяйства, а также уточнения современной экологической парадигмы.

Рассмотрим этапы экологического картирования.

Методология исследования структуры ландшафта в системе ОВОС (теоретические вопросы)

Большой вклад в разработку таксономии и методологии исследования ландшафтов внесли Б. Б. Полынов (1956), Д. Л. Арманд (1975), В. Б. Сочава (1978), А. Г. Исаченко (1965, 1985), Н. Л. Беручашвили (1990), Э. Нееф (1974), Б. Небел (1993) и другие исследователи.

При изучении состояния и структуры компонентов ландшафта и составлении экологической карты в системе ОВОС выделяют три этапа: *подготовительный, полевой и камеральный.*

В подготовительный период обосновываются цель и программа экспедиционных изысканий. Этот этап включает организационную и научно-технологическую стадии. *Первая* охватывает организационные мероприятия — определение объема полевых работ, состава экспедиции, сметы расходов, порядка доставки грузов и специалистов к месту работ, размещение полевиков на базе, наем рабочей силы и автотранспорта; *вторая* — анализ и обобщение литературных источников и фондовых материалов, подготовку картографической основы, решение задач, связанных с материально-техническим обеспечением членов экспедиции. Важное место отводится сбору и систематизации научно-практической информации, относящейся к изучаемой территории. Ценный материал дает анализ и дешифрирование

топографической карты: сведения о сложности района изысканий, типах и формах рельефа, его расчлененности (вертикальной и горизонтальной), элементах рельефа (крутизне, протяженности, форме и экспозиции склонов), характере речной сети, особенностях генезиса болот и озер, современном антропогенезе. Используют *также специальные (отраслевые) карты — почвенные, геоботанические, геологические, геоморфологические, гидрологические* и другие содержат важные сведения о компонентах ландшафта. В этот период можно осуществить выборочное ландшафтное дешифрирование фотопланов и аэрофотоснимков (*об этом кратно ниже*), составить экологические профили, диаграммы и описания. При крупномасштабных изысканиях (М 1: 10 000 и М 1: 25 000) находят зависимости между компонентами ландшафтов и составляют карту-гипотезу. *Итоговым документом подготовительного этапа* является предварительная ландшафтная карта, составленная на топографической картоснове.

Ландшафтная карта-гипотеза является важным документом в системе ОВОС для расчета объема, стоимости и сроков проведения полевых изыскательских работ, выбора направлений маршрутов, закладки опорных экологических профилей и ключевых участков, организации стационарных опытов при уточнении загрязнения почв, пород и грунтовых вод.

*Полевой период***.** Экспедиционные работы подразделяются на *рекогносцировочные и собственно ландшафтное картографирование* (ландшафтно-экологическая съемка). Несмотря на то, что цели у них разные, они включают одинаковые виды работ: маршрутные наблюдения, ландшафтное профилирование, съемку на ключевых участках. Виды точек наблюдений: опорные, основные, картировочные, специальные. *На опорных точках* проводят наиболее полное изучение структуры фаций. Их размещают на опорном ландшафтном профиле.

Основные точки закладываются при маршрутных изысканиях в фациях, типичных для ландшафта. Полученные сведения можно экстраполировать на аналогичную близлежащие природно-территориальные комплексы (ПТК). За один день специалист может сделать 7-9 полных описаний на основных точках. При продолжительных пеших переходах их число составит 4…7. *Картировочные точки* используются для краткой характеристики фаций-аналогов, подробно описанных на основных и опорных точках. Почва характеризуется прикопкой. Название растительности шифруется индексами. *Специализированные точки* используются при обстоятельной характеристике одного компонента ландшафта.

Полевые исследования на точках наблюдения подробно изложены в соответствующих методических руководствах по геоботанике, почвоведению, ландшафтоведению, экологии и гидрологии. Поэтому дальше эти изыскания будут рассмотрены кратко. Работа на маршруте начинается с *географической* (координаты точно определяются с помощью GPS навигатора) и *топографической привязок,* которая записывается в полевом дневнике. Местоположение точки в ландшафте точно отмечается на картоснове.

Рельеф. Дается общая оценка макро- и мезорельефа, а также конкретное положение точки наблюдения (водораздел междуречья, плакор мореного увала, Ю-З часть полого склона холма, закустаренное и закочкаренное днище меж увалистой западины, верхняя треть

склона озерной террасы, притеррасная пойма, дно балки, С-З крутой склон карстовой воронки и т. д.).

Почвообразующие породы и наносы изучаются в естественных обнажениях или искусственных выемках: карьерах, котлованах, канавах. Здесь следует соблюдать меры безопасности и взаимной подстраховки.

Описание растительности проводится на опорных и основных точках наблюдения. В лесу геоботаническая площадка имеет размер 100 м^2 и более. При описании луговой и степной растительности размер пробной площади составляет ~10 м^2.

Изучение пространственной структуры ландшафта — рекогносцировка и ландшафтная съемка. Рекогносцировка — предварительное знакомство с территорией самого специалиста или всего коллектива исполнителей (экспедиции, отряда). Она позволяет проверить правильность составления ландшафтной карты-гипотезы, уточнить природные рубежи (границы) фаций и урочищ, — экотоны — выработать у исследователей единые представления о диагностических признаках, характеризующих структуру ландшафта, утвердить терминологию, последовательность работ и особенности составления легенды к ландшафтной карте. Рекогносцировка должна подтвердить объем полевых изысканий и вероятную смету расходов. Нередко проводится аэровизуальная рекогносцировка как более оперативная и масштабная.

Ландшафтно-экологическая съемка проводится с помощью следующих полевых методов: маршрутного, комплексного ландшафтного профилирования, «ключей», эталонов и дистанционного зондирования. Ключевой метод[9] дает ценную информацию при проведении средне- и мелкомасштабной ландшафтной съемки. Рабочие маршруты на ключевых участках, как правило, пересекают контуры, выделенные на предварительной карте-гипотезе.

Если аэрофотоснимки, например, для М 1: 25 000 отсутствуют, то выбор ключевых участков можно провести по топографическим картам более крупного масштаба М 1:5000 и М 1:10 000 в каждом из указанных видов угодий — леса, болота, закустаренные пустоши, сенокосы и пастбища, пахотные участки… по 5–7 «ключей».

*Систематизация материалов полевых работ***.** В процессе длительных полевых изысканий (несколько месяцев) составляется полевой вариант ландшафтной карты. Он вычерчивается или на картоснове (фотопланах, топографической основе), или на кальке. Откладывать перенесение всего объема картографического материала на последний месяц работы нерационально: заметная часть фактической информации будет упущена. Поэтому рекомендуется ежедневно (по окончании маршрутных изысканий и возвращения на базу) наносить на картоснову границы фаций, номера «ключей», маршрутные линии (ходы), а в полевом дневнике дооформлять выявленные особенности состояния и структуры ландшафтов. Образцы растений, пробы почв и воды подготавливаются к отправке в лабораторию и упаковываются по системному принципу: по профилям, участкам и «ключам». Составляется их опись и ведомости.

[9] Наилучшим способом выбора «ключей» является их выделение на этапе ландшафтного дешифрования аэрофотоснимков и фотопланов с горизонталями. Количество «ключей» на разных участках должно составлять ~1/5 общей площади изысканий. «Ключи» являются как бы уменьшенной копией объекта изысканий.

В камеральный период завершается работа по составлению ландшафтной карты и легенды к ней. В химических лабораториях анализируются образцы почв, растений, воды. Особое внимание уделяется лаконичному тексту легенды ландшафтной карты. *Названия контуров включают* характеристику форм и элементов мезорельефа, типа растительной ассоциации, типа (и подтипа) почвы, название почвообразующей (реже подстилающей) породы, степень антропогенного воздействия и изменения в структуре ландшафта. Легенда составляется по генетическому принципу. Подбирается цветовая гамма (лучше по шкале Мансела) к контурам, которые оцифровывают согласно их номерам в легенде. Затем приступают к завершающему этапу (*чистовой вариант) оформления карты*, используя результаты химических анализов. Они помогают уточнить не только генетические особенности почв, но и масштаб и характер антропогенной нагрузки. Используя эти данные, оформляют на *ландшафтной основе экологическую ситуацию.*

Что такое *«чтение» топографической карты и дешифрирование аэрофотоснимков*

Крупномасштабная топографическая карта является одной из востребованных картографических основ при проведении почвенных, агрохимических, ландшафтных и экологических изысканий. В отличие от аэрофотоснимков на топокарту картографами уже нанесена подробная информация о ландшафтах и социально-экономической инфраструктуре. С помощью условных обозначений можно легко дешифрировать сведения, нанесенные на топокарту и точно ориентироваться на местности при ландшафтном картировании. Здесь очень удобен метод GPS-ГЛОНАСС навигации.

В легенде к топокарте выделяются следующие *блоки условных обозначений*: 1. гидрография, 2. рельеф, 3. растительность, 4. социальная инфраструктура и специальные обозначения - геологические и другие. Их следует твердо запомнить. Важным дополнением обычно служат аэрофотоснимки того же масштаба, что и топокарта. Аэрофотоснимки, как правило, содержат боле позднюю (и точную) информацию, которая может отсутствовать на топографической карте. Наличие на топокарте горизонталей и шкалы заложений позволяет определять форму, крутизну, протяженность и экспозицию склонов. Точно выделять участки поймы и террасы реки. Обоснованно наводить контура фаций, урочищ и водосборных участков. *Уместно отметить, что экосистемы* не картографируется, так как ее таксономические уровни для картографии пока не разработаны.

Существует и *бассейновый* подход, или геосистемно-гидрологический (Б. А. Казанский, 1988); ландшафты изначально дифференцируются по бассейновому принципу, гидрологии местности и типам водообмена. Подобным образом подходил к решению задачи при почвенном картировании В. В. Докучаев. *Отметим, что фации* обычно занимают весьма небольшую площадь и приурочены к одной форме микрорельефа (например, нижней трети части подошвы склона, замкнутому понижению на водоразделе). Для фации типичен один биогеоценоз, хотя растительный покров и здесь весьма динамичен во времени и пространстве. Если нарушения растительного покрова фации незначительны и не привели к радикальной трансформации других компонентов (почв, пород), то такую фацию при антропогенном вмешательстве (рубке, раскорчевке небольших участков) можно считать единой.

Полное название фации: фация сосняка бруснично-верескового с подзолом иллювиально-железистым песчаным на древнеаллювиальных отложениях боровой террасы реки Сев. Двины; фация ельника разнотравного с

сильноподзолистой среднесуглинистой почвой на мореном бескарбонатном суглинке верхней трети С-3 полого склона мореного увала.

Под урочищем понимается сопряженная система фаций, объединенных общими процессами обмена веществ и энергии, общей направленностью водообмена (перемещения водных потоков) и перераспределения веществ путем водной миграции. При сравнительно однородном рельефе дифференциация природных местностей (и обособление урочищ) основывается на характере пород: их химическом составе, генезисе и свойствах. Так, в пределах моренной слабо увалистой и слаборасчлененной равнины могут быть выделены урочища, сформированные на зандровых (песчано-супесчаных) равнинах, и урочища, развитые в пределах всхолмленных суглинистых мореных равнин. Эти участки таежного ландшафта будут отличаться многими параметрами, однако следует подчеркнуть главное. *На задровых равнинах* вследствие глубокого залегания водоупора и хорошей инфильтрационной способности песчаных наносов в меньшей мере будет проявляться заболачивание ландшафтов в отличие от суглинистых мореных равнин. *Названия урочищ*: урочища мореных холмов с преобладанием подзолистых суглинистых и болотно-подзолистых почв под ельниками-черничниками, зеленомошными и долгомошными.

***Методология дешифрирования* аэрофотоснимков и фотопланов**

Процесс дешифрирования природных ландшафтов классифицируется по многообразию применяющихся методов, способов и методических вариантов. Например, Богомолов Л.А. (1976) выделяет: *полевой, камеральный, комбинированный, аэровизуальный, индикационный, эталонный, ландшафтный* (вариант визуального дешифрирования) и иные подходы к дешифрированию (компьютерные технологии: ГИС). *Дешифрирование* проводится по определенной системе: во-первых, выявляются и оконтуриваются на снимках территории с однотипным рельефом, растительностью и почвами. Этот этап работы можно определить как *контурное ландшафтное дешифрирование.* Во-вторых, устанавливается содержание выявленных на снимках компонентов почв, почвообразующих и подстилающих пород - *этап генетического дешифрирования.* Подробно этот материал излагается в Рабочей тетради.

Топографическая карта: её чтение, анализ типов и форм рельефа[10], легенда к карте

Преподаватель кратко напоминает *основы картографии*. На примере топографической карты объясняет особенности *ее чтения, ориентирования и использования при эколого-геохимическом картировании*.

Цель: напомнить студентам и закрепить приемы ландшафтного дешифрирования и чтения топографической крупномасштабной карты.

[10] Работа выполняется при наличии стереоскопов и набора аэрофотоснимков (фотопланов с горизонталями).

Исходный материал для темы №1: фрагменты топографической карты, аэрофотоснимки и фотопланы с горизонталями масштаба М 1:10000 и М 1:25000. Стереоскопы. Планиметры, палетки. Рабочие тетради.

Литература: Яшин И.М. с соавт. «Лабораторный практикум: ландшафтоведение». 2004. 70 с.

Порядок выполнения задания

1. Наложите кальку (10×10 см) на топографическую основу (или аэрофотоснимок). Вычертите рамку фрагмента будущей карты. Перенесите на кальку точки наблюдений (и будущего описания компонентов ландшафтов по заданию преподавателя). Например, *ландшафты тундры, тайги, лесостепной, степной и иных зон земного шара*. При реальном экологическом картировании на рамку наносятся *координаты местности* и *абсолютные отметки высот* по GPS или ГЛОНАСС навигаторам.

2. Используя дешифровочные признаки (прямые и косвенные) аэрофотоснимка и топографической основы, вычертите на подготовленной кальке формы и элементы мезорельефа конкретной природной зоны. *Например, для зоны тайги* – это формы мореного эрозионного и флювиогляциального рельефа. После чего выделите и перенесите на кальку плакоры, а за ними – склоновые элементы. При этом обратите внимание на экспозицию (С, Ю, З, В…), протяженность, характер и крутизну склонов. Последний параметр определяют или с использованием *шкалы заложений*, или расчетным способом (найдя соотношение величин заложения на карте (h) и высоты сечения рельефа (d) на местности: $\mathrm{tg}\,\alpha = h/d$ в одних и тех же единицах измерения).

3. *Проведите типологический анализ* выделенных форм и элементов рельефа. Составьте легенду к геоморфологической карте (или ее фрагменту). В легенде элементы мореного (или иных типов) рельефа должны *быть систематизированы по типам и уровням поверхностей*, начиная с наиболее высокого (плакоры) и заканчивая эрозионными (а также включая оценку местных базисов эрозии, вертикальную и горизонтальную степень расчлененности рельефа).

4. Выделите и охарактеризуйте *водосборы*: оцените их генетические особенности, функционирование и роль в развитии миграции веществ (поверхностной и внутрипочвенной).

5. Раскрасьте и оцифруйте выделы элементов и форм рельефа согласно *легенде к ландшафтной карте.*

6. Проведите зарамочное оформление фрагмента ландшафтной карты.

Ввиду дефицита учебного времени предусматривается частичное выполнение данной работы в форме домашнего задания.

Зачетный материал по теме. На кальке-накладке в цветовом изображении (плакоры – желтым, типы склонов – оттенками коричневого, долины рек и их

элементы – террасы, пойма… – оттенками зеленого цвета) отразите элементы плакоров, склонов и флювиальные формы рельефа.

В зарамочное оформление карты входят: название карты, указание масштаба, легенда типов, форм и элементов мезо- и микрорельефа (они важны для последующей идентификации урочищ и фаций), а также фамилия и инициалы исполнителя и дата сдачи задания. Карта оформляется аккуратно. Возможно использование соответствующих компьютерных программ.

Обоснование задания и справочный материал

Студенты должны научиться распознавать (дешифрировать) на топографической карте (аэрофотоснимках, фотопланах с горизонталями…) генетические *типы рельефа, а также их формы и элементы*. Ниже будет изложен справочный и методический материал по теме 1. *Студентам целесообразно дать письменную самостоятельную работу (аудиторную или домашнюю).*

Известно, что формы макро- и мезорельефа – природные барьеры и дифференциаторы на поверхности Земли влаги, солнечной радиации (света), тепла и эрозионного материала. К элементам *долинного флювиального рельефа* относятся террасы и поймы постоянных и временных водотоков: суходолов, балок, оврагов, *днища ва́ди* (высохшие русла рек, теряющиеся в песках пустыни и не достигающие морского бассейна, например, в Сахаре, Саудовской Аравии, Средней Азии), которые являются местными базисами эрозии (они имеют *наименьшие абсолютные отметки* местности и сюда попадает эрозионный сток).

Составление фрагмента крупномасштабной экологической карты М 1:10 000 или М 1:25 000

Выполнение данной темы позволит магистрам овладеть методикой *составления экологической карты в камеральных условиях*.

Исходный материал для задания тот же, что и *в предыдущем разделе*, а также составленный ранее фрагмент крупномасштабной геоморфологической карты (с выделенными контурами форм рельефа).

Порядок выполнения задания

1. На составленной ранее геоморфологической карте (калька-накладка с фрагмента топографической основы или аэрофотоснимка) *выделите границы фаций* – исходя из форм и элементов рельефа, растительности – и кратко охарактеризовать их особенности.
2. Учитывая элементы мезо- и микрорельефа, частоту горизонталей, уклон (и протяженность склонов, их состояние и характер производственного использования), почвенно-растительный покров, водосборы и базисы эрозии (см. рабочую легенду), дешифровочные признаки, *проведите границы* урочищ.

   Прежде всего, *следует провести границы фаций местных базисов эрозии*: речной и овражно-балочной сети. Напомним, линию контура в пределах пойменных тыловых швов нельзя постоянно вести по одной горизонтали. Целесообразно следовать как бы за уровнем по́лых и

меженных вод. Границы днищ эрозионных форм рельефа проводятся по касательной к окружности, мысленно вписываемой в изгиб горизонталей днища.

Привершинные водосборные понижения с выположенными склонами при выделении фаций не должны объединяться со склонами в один контур, поскольку в них отсутствует деятельность строго направленного водотока. Затем приступают к анализу и обозначению на новой кальке фаций *плакоров*.

На следующем этапе составления фрагмента ландшафтно-экологической карты выделяют фации склоновых площадок, используя для этого сведения по ландшафтно-экологическому профилированию (данные о вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа).

Сходные по генезису группы фаций (в пределах однотипного мезорельефа) объединяют в урочища. Границы урочищ оконтуриваются *красным цветом, а фаций – синим*.

3. *Составляют легенду к ландшафтной карте*. В легенде под конкретным номером фации даются генетические характеристики компонентов ландшафтов – почвы, растительной ассоциации, почвообразующих пород. Антропогенные модификации фаций (нарушенные) указывают на карте *черной штриховкой.*
4. Раскрашивают и нумеруют *контуры фаций и урочищ*.
5. Проводят зарамочное оформление карты (см. предыдущее задание, а также учебное пособие Яшин И.М. и др. «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах», 2000, - с. 43).

Зачетный материал – фрагмент учебной ландшафтно-экологической карты с выделенными фациями и урочищами (подурочищами), выполненный в цветном изображении в виде кальки – накладки на топокарту. Порядковая нумерация контуров фаций и урочищ приводится, исходя из *составленной легенды к ландшафтной карте.*

В Рабочей тетради (при выполнении данной темы) могут быть (по заданию педагога) представлены описания компонентов ландшафтов по схеме, реализуемой на выездной учебной практике дисциплины «Экология и охрана почв».

Построение эколого-геохимического профиля

Эколого-геохимический профиль через загрязненный токсикантами участок в системе ОВОС пересекает рельеф вкрест и позволяет оценить эко-геохимическую ситуацию в ландшафтах с наименьшими экономическими затратами. Подобные профили обычно закладывают геологи, почвоведы и геохимики, например, при поисковых изысканиях на золото (в речных террасах Республик Тывы и Якутии). В нашем примере оценивается характер и степень химического загрязнения (или аномального содержания) химического соединения в почвах и экосистемах вдоль линии наблюдения,

допустим, от берега реки через пойму, террасы и склон коренного берега к плакору.

Цель задания: выработать навыки построения опорного ландшафтно-экологического профиля с помощью полевых методов экологических исследований.

Необходимый материал для задания: составленный фрагмент учебной ландшафтной карты М 1:10000, 1:25000, или топографическая карта; миллиметровка, карандаши. Учебное пособие «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах» (Яшин И.М. и др., М., 2000).

Порядок выполнения работы

Используя гипсометрический и геоморфологический профили и точки наблюдения (основные, картировочные), *составьте ландшафтный, а затем и экологический профили* в выбранном масштабе высот и протяженности на миллиметровке (или кальке) с выделением границ фаций и загрязненных некоторыми ТМ участков.

1. Вычертите комплексный ландшафтный профиль с диагностикой почв (и почвенного покрова), растительности, почвообразующих и подстилающих пород, рельефа. Растительность и почвы характеризуют с оценкой их антропогенной нарушенности, состояния и эволюции.
2. На топографической основе (*исходной картоснове* для составления ландшафтной карты и профиля) покажите положение ключевого (и эталонного) участка, на нем – линию ландшафтного профиля с опорными точками наблюдения.
3. Дайте обоснование для выделения на ландшафтном профиле дополнительных точек – основных, картировочных и специальных.

Зачетный материал по теме: опорный ландшафтный профиль и описание основных точек наблюдения.

Вспомогательный материал можно найти в справочном материале.

Резюме по модулю 5. Полевое ландшафтно-экологическое картирование в системе ОВОС позволяет получить важную информацию о компонентах ландшафтов и оформить ее в виде специальных карт: ландшафтных, эко-геохимических, экологических и других. *Подобные карты отличаются точностью, доступностью и наглядностью.* Они востребованы и используются в системе земельного кадастра, земледельцами, мелиораторами, почвоведами, лесоводами и экологами. На их основе разрабатываются адаптированные к ландшафтам современные системы земледелия, приемы окультуривания почв, рационального природопользования и охраны почв. *Эко-геохимические крупномасштабные карты* особенно актуальны в современный период, когда Биосфера Земли испытывает масштабное антропогенное загрязнение. Поэтому такие карты востребованы в системе ОВОС.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое «ландшафтная карта» и «экологическая карта»?
2. Перечислите основные этапы составления экологической ой карты в системе ОВОС.
3. Для каких целей и как проводится рекогносцировка участка?
4. В каком масштабе картируются фации и урочища?
5. Что такое маршрутный метод картирования и как составляется маршрутный ход?
6. С какой целью и как составляется предварительная ландшафтная карта-гипотеза при экологическом картографировании?
7. Какие работы выполняются в камеральный период?
8. Как составить чистовой вариант ландшафтно-экологической карты?
9. Объясните, что такое дешифрирование аэрофотоснимков?
10. Какие картографические основы можно использовать при ландшафтно-экологическом картографировании?
11. Перечислите этапы составления почвенной и ландшафтной карт.
12. Объясните, как выделяются на топокарте контура химически загрязненных почв и фаций?
13. Объясните правила отбора проб почвы, растений и природных вод.
14. Назовите основные группы физико-химического анализа.
15. С какой целью применяют метод хроматографии при ОВОС?
16. Назовите и охарактеризуйте виды хроматографии.
17. Какие экосистемы и ландшафты распространены на Соловецком архипелаге?
18. Напишите основные классы экотоксикантов по классификации ВОЗ.
19. Охарактеризуйте метод флуориметрии и возможности его использования.
20. Какие метода анализа можно использовать для определения очень низких концентраций ионов тяжелых металлов в природной воде?
21. С какой целью проводятся лизиметрические исследования при ОВОС?
22. Какие приемы существуют для оценки погрешностей физико-химического анализа?
23. Для чего проводят предварительное концентрирование веществ на чистых сорбентах из природных растворов?
24. Перечислите аналитические методы по классам точности.
25. С какой целью проводят мокрое и сухое озоление проб растений?
26. Кто автор метода хроматографии?
27. Приведите примеры применения метода хроматографии в почвоведении и экологии. Что представляет собой метод сорбционных лизиметров?
28. Какими методами определяют в почвах подвижные формы ртути, ванадия и мышьяка в системе ОВОС?

Тест-задания к модулю 5.

1. Перечислите этапы составления экологической крупномасштабной карты при ОВОС:
   а) подготовительный,
   б) камеральный,
   в) полевой,
   г) рекогносцировка.
2. Назовите методы полевого экологического картирования:
   а) рекогносцировка,
   б) маршрутные изыскания,
   в) заполнение полевых дневников,
   г) стационарные исследования.
3. Какие документы готовят при сдаче экологической карты заказчику?
   а) ведомости назначения почв на анализ,
   б) легенда,
   в) пояснительная записка,
   г) акты приемки работ.
4. В каком масштабе проводят экологическое картирование объекта площадью 2 га?
   а) М 1: 100 000,
   б) М 1: 10 000,
   в) М 1: 500,
   г) М 1: 1 000 000.
5. В каком масштабе проводят экологическое картирование объекта площадью 102 га?
   а) М 1: 1 000,
   б) М 1: 10 000,
   в) М 1: 5000,
   г) М 1: 100 000.
6. *Что такое биотестирование*?

а) тестирование количества биоты в почве,
б) тестирование почвенных грызунов в почве,
в) тестирование биоты в зависимости от уровня химического загрязнения,
г) тестирование физического загрязнения почвы и экосистемы.

7. *В каком из приборов более корректно провести опыт по биотестированию влияния ионов ТМ*?

а) в сорбционном лизиметре,
б) в вегетационном сосуде Митчерлиха,
в) в чашках Петри с фильтровальной бумагой,
г) в сосудах с чистым кварцевым песком.

8. *Какой из блоков экологического картографирования можно убрать?*

а) оценочный,
б) базисный,
в) блок управления,

г) согласования,
д) прогнозирования.
9. *С помощью каких методов проводится оценка загрязнения участка*?
а) химических методов,
б) микробиологических,
в) геофизических,
г) геохимических,
д) физико-химических.
10. *Вычеркните нетоксичные катионы и анионы*.
а) Ca^{2+}, K^{+}, Cd^{2+},
б) NO_3^{-}, CL^{-}, H^{+},
в) Br^{-}, Be^{2+}, $H_2PO_4^{-}$.
11. *Что такое* ***ПДК***?
а) параметр оценки загрязнения продуктов питания, воды и кормов,
б) миграционный параметр,
в) ориентировочный санитарно-гигиенический параметр,
г) биогеохимический параметр оценки миграции токсикантов.
12. *Как рассчитывается параметр* ***ПДК****?*
а) на основе модельных лабораторных опытов,
б) на основе биогеохимических исследований,
в) на основе математических выражений,
г) взят, как ориентировочное значение.
13. *Какие критерии кроме* ***ПДК*** *используются в почвенно-экологических изысканиях ОВОС*?
а) коэффициент мобилизации,
б) индекс загрязнения почвы ионами ТМ по Ю. Саету,
в) индекс суммарного загрязнения экосистемы по Яшину, Кауричеву и Черникову,
г) коэффициент водной миграции по Перельману.
14. *Укажите вероятные пути химического загрязнения экосистемы ионами ТМ*:
а) трофические (пищевые) цепи,
б) биогеохимические потоки миграции (биогенный и водный),
в) воздушный трансатлантический перенос,
г) в форме твердых бытовых отходов.
15. *В чем состоит суть стационарного метода*?
а) в исследовании почв на одном участке много лет,
б) работа по научной программе 7-10 лет на реперных точках,
в) изучение почв и экосистем более 10 лет по проектам и научным грантам,
г) изучение почв и биоты бакалаврами и магистрами 5-9 лет.
16. *Какие приборы используются на стационарных площадках?*
а) тензиометры и пьезометры,
б) лизиметры, термометры,
в) сорбционные лизиметры,
г) пылеуловители, опадо- и осадкомеры.

17. *Чтобы правильно выбрать стационарную площадку нужно*:
а) провести детальную почвенную и ландшафтную съемки в М 1: 500,
б) заложить почвенно-геохимическую катену,
в) установить в катене сорбционные лизиметры (в профилях почв),
г) провести экологическое картирование и наметить участки, пострадавшие от продуктов антропогенеза: «кислотных дождей», сажи, смога и пыли.
18. *Для оценки каких процессов закладывается почвенно-геохимическая катена?*
а) для изучения состава гумуса и кислотности почв,
б) для оценки сопряженных потоков водной миграции веществ,
в) для учета перераспределения веществ по профилям почв,
г) для изучения водного и пищевого режимов почв участка.
19. *В каких целях применяются передвижные экологические лаборатории?*
а) для оценки пылевого загрязнения селитебных ландшафтов,
б) для проведения оперативного мониторинга,
в) для оперативного изучения экологической ситуации в заповедниках, селитебных и промышленных зонах городов,
г) для учебных и научно-производственных целей.
20. *Вычеркните из блок-схемы мониторинга нехарактерный компонент*:
а) блок наблюдений,
б) блок оценки состояния экосистемы,
в) блок прогноза,
г) блок учета кровососущих насекомых, червей и мух,
д) блок управления экологической ситуацией.
21. *В уровнях экологического мониторинга вычеркните ошибочный компонент*:
а) производственный,
б) импактный (локальный),
в) региональный,
г) фоновый,
д) глобальный.
22. *С географической позиции оцените Соловецкий архипелаг:*
а) место проведения фонового мониторинга почв и экосистем,
б) территория современных метеорологических наблюдений,
в) территория оценки морских течений, приливов Белого моря,
г) ландшафты, представляющие интерес для лесоводов.
23. *Какие географические зоны (зона) или подзона характерна (ы) для Соловецкого архипелага? Он залегает в 25 км к югу от Полярного круга*.
а) подзона северной тайги,
б) тундра,
в) тундролесье,
г) очень большие площади заняты вторичными смешанными лесами из-за масштабных рубок в 30-50-х годах 20-го века.
24. *Кто автор метода сорбционных лизиметров (А)?*
и (Б) для каких целей этот метод применяется?

А) Кауричев, Черников, Яшин, Вильямс, Перельман, Докучаев, Одум;
Б) - для учета водной миграции веществ,
- для учета миграции нитратов в почве,
- для учета миграции в почве ионов металлов,
- для учета миграции частиц пыли и коллоидов.

25. *Какие сорбенты применяют в сорбционных лизиметрах*?
а) активированный уголь и оксид алюминия,
б) порошок кальцита и доломита,
в) синтетические органические ионообменные смолы,
г) песок и частицы пыли, золу.

26. *Назовите основные комплектующие сорбционного лизиметра*:
а) жесткая пластмассовая сорбционная колонка, приемник лизиметрических вод из инертного материала, вакуумные шланги,
б) стеклянные фильтры-воронки, приемник лизиметрических вод,
в) лоток, стеклянные трубки и стеклянная бутыль,
г) сорбционная колонка со стационарными слоями сорбентов и чистого кварцевого песка.

27. *Кто автор модифицированного варианта метода сорбционных лизиметров*?
а) Яшин И.М.,
б) Кауричев И.С.,
в) Черников В.А.,
г) Вильямс В.Р.

28. *С какой целью была разработана модификация метода сорбционных лизиметров*?
а) для оценки коэффициента мобилизации $\mathbf{k_{моб}}$ экотоксикантов из различных веществ (удобрений, мелиорантов, вскрышных горных пород, золы),
б) для оценки мобилизации в раствор из твердой фазы растительного опада и лесных подстилок углерода ВОВ,
в) для уточнения коэффициента водной миграции химических элементов,
г) для изучения процессов гумификации растительных остатков в новые соединения – гумусовые вещества почвы.

29. *Для каких целей применяются метеорологические станции нового поколения*?
а) для экологического мониторинга,
б) для повышения урожайности сельскохозяйственных культур,
в) для оценки эмиссии газов в разных ландшафтах,
г) для оценки перемещения циклонических масс воздуха в атмосфере.

30. Отметьте лабораторные методы, применяемые при ОВОС:
а) учет расхода электричества при аналитических работах,
б) физико-химические методы,
в) химические методы.

Задачи к модульной дисциплине «Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС»

Задача 1

Определите градиент барьера миграции **G** соединений кадмия в таежной агроэкосистеме (в частности, в гор. A_1 почвы), если известно, что масштаб миграции M ионов кадмия «на входе» гор. A_1 составляет 5,0 мг/м^2·год$^{-1}$, а на «выходе» из гор. A_1 – 2,6 мг/м^2·год$^{-1}$. Мощность горизонта A_1 I достигает 22 см.

Задача 2

Рассчитайте коэффициент мобилизации $\mathbf{k_{моб}}$ ионов свинца из доломитизированного известняка, внесенного в гор. A_1 дерново-подзолистой почвы южно-таежной агроэкосистемы, если известно, что в твердой фазе мелиоранта содержится 0,004% $PbCO_3$, а за 1 год (по данным метода сорбционных лизиметров) из мелиоранта мобилизуется 0,02г/100г ионов Pb^{2+} в растворимое состояние (коэффициент мобилизации $k_{моб}$ ионов свинца равен 0,0002).

Задача 3

Рассчитайте массу ионов свинца, мобилизуемую в раствор из доломитизированного известняка, если известно, что $\mathbf{k_{моб}}$ равен 0,0032 (в частях), а в мелиоранте содержится 37,5 мг/кг $PbCO_3$.

Задача 4

Исходя из величин Кларка и масштаба водной миграции, определите, какой химический элемент интенсивнее мигрирует в течение 1 года в таежном агроландшафте: **ионы железа или кремния**? В частности, в профиле подзолистой почвы. Известно, что масштаб миграции $m_{миг}$ Fe^{3+} = 326 мг/м^2·год$^{-1}$, а кремния – 3108 мг/м^2·год$^{-1}$; общие Кларки n_x железа и кремния соответственно составляют 2,7% и 54%.

Задача 5

В схематическом уравнении материального баланса гумуса в гор. $A_{пах}$ $O_п \cdot k_г = B \cdot k_{мин}$, допустим, величина $O_п$ (масса ежегодного опада растительных остатков) в агроэкосистеме существенно (в десятки раз) уменьшилась вследствие сжигания стерни и отчуждения послеуборочных остатков. Прокомментируйте, как будут изменяться величины B (запасы гумуса) и $k_г$, если $k_г$ – коэффициент (константа) скорости гумификации много меньше $k_{мин}$ (коэффициента минерализации): соответственно 0,01 и 0,65.

Задача 6

Прокомментируйте схематичное уравнение материального баланса гумуса: $O_п \cdot k_г = B \cdot k_{мин}$, при условии, что произошло техногенное разрушение (примерно75%) гор. A_1 и гумусовых веществ в профиле дерново-подзолистой почвы подзоны южной тайги.

Задача 7

Исходя из величины $k_{моб}$, Кларка ($\mathbf{n_x}$) Fe в почве (4,5%), a_x – сухого остатка в речной воде (0,25%), определите коэффициент миграции $\boldsymbol{k_{миг}}$ ионов железа в таежном заболоченном ландшафте. Известно, что коэффициент мобилизации $\mathbf{k_{моб}}$ ионов Fe^{3+} в раствор равен 0,005 (в долях). Охарактеризуйте эко-геохимический смысл константы интенсивности миграции $\mathbf{k_{миг}}$.

Задача 8

1. Рассчитайте коэффициент миграции $k_{миг}$ для *ионов кремния и цинка* в таежном ландшафте, если известны следующие параметры:

а) *для кремния*:

m_x – $1 \cdot 10^{-2}$ г/л (концентрация ионов элемента в жидкой фазе),

a_x – 0,5 г/л (сухой остаток),

n_x – 29,5% (Кларк элемента, или валовое содержание).

б) *для цинка*:

m_x – $5 \cdot 10^{-5}$ г/л,

a_x – 0,3 г/л,

n_x – $8{,}3 \cdot 10^{-3}$ %.

Сделайте вывод, во сколько раз один химический элемент мигрирует интенсивнее другого в ландшафте. Объясните возможные формы их миграции и активность на барьерах миграции.

Задача 9

Рассчитайте годовой масштаб вертикальной нисходящей миграции М ионов Pb^{2+}, если известно, что диагностированная масса ионов свинца (в сорбционном лизиметре) составляет 4,37 мг, а рабочая поверхность сорбционного лизиметра – 66,4 $см^2$.

Задача 10

Какие экологические методы могут быть использованы для выделения основных типов ландшафтов (с географической и геохимической точки зрения)? Для каких геохимических ландшафтов (автономных, каскадных) может быть использована расчетная формула оценки водной миграции того или иного химического элемента? Дайте эко-геохимическое обоснование коэффициенту интенсивности водной миграции $k_{миг}$.

Задача 11

Определите *коэффициент обновления гумуса* $\mathbf{k_{обн}}$ дерново-подзолистой почвы гор. $А_{пах}$ агроэкосистемы подзоны южной тайги ($k_{обн}$), если известно, что масса органического углерода гумуса в слое почвы 0–20 см на 1 $м^2$ составляет 1540 г, а масштаб мобилизации $С_{орг}$ ВОВ из растительных остатков 14,7 $г/м^2 \cdot год^{-1}$.

Задача 12

За 1 год обновляется порядка 4% $С_{орг}$ гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы в подзоне южной тайги. За какой период времени произойдет полное обновление молекулярных структур гумусовых соединений почвы, если скорость процесса будет постоянной? Объясните, какие молекулярные структуры гумусовых веществ прежде всего обновляются компонентами ВОВ?

Задача 13

Постройте схему ландшафтно-экологического профиля по линии: «водораздел – терраса – русло реки» и охарактеризуйте особенности функционирования элементарных геохимических ландшафтов в катене подзоны южной тайги: смешанный лес (плакор) – сосняк-беломошник (речная терраса) – закустаренный и закочкаренный сенокос в *пойме реки*. Вертикальный и горизонтальный масштабы – произвольные. Абсолютная отметка плакора – 172 м над у.м., а отметка местного базиса эрозии – 101 м над у.м.

Задача 14

Определите среднюю линейную скорость водной миграции ионов кадмия в профиле дерново-подзолистой почвы, если известно, что за 1 год поток гравитационной воды прошел путь в 91см, а ионы кадмия обнаружены на глубине 20,5 см.

Задача 15

Определите относительную скорость абиогенной миграции ионов радиоактивного стронция-90 в профиле подзолистой среднесуглинистой почвы, если известно, что за 1 год поток гравитационной влаги (носителя) достиг глубины 29 см, а ионы стронция обнаружены на глубине 1,9 см. Биогенной миграцией стронция-90 можно пренебречь.

Заключение

В *литературе по проблеме ОВОС* основное внимание *уделяется нормативным и правовым документам.* В меньшей мере рассматриваются методы и результаты *инженерно-экологических изысканий*. Это и понятно, поскольку они относятся к блоку естественнонаучных дисциплин: экологии, почвоведению, эко-геохимии, географии и требуют специальной подготовки – умению работать с картографическими материалами, дешифрировать аэрофотоснимки, картировать почвенный покров и ландшафты, выполнять геоэкологическую оценку ситуации, рассчитывать **параметры миграции** и аккумуляции *экотоксикантов* на барьерах миграции.

В настоящее время подобная оценка экологической ситуации нередко ограничивается *констатацией уровня концентрации токсикантов*. Это нужная и важная информация, *но ее уже недостаточно* - она неполно отражает существо проблемы загрязнения экосистем. Следует учесть источники загрязнителей (тяжелых металлов, нефтепродуктов, радионуклидов, диоксинов, пестицидов, ПАУ, ПХБ, СПАВ и др.), формы и масштабы их миграции, процессы трансформации в почвах и водах, накопление в компонентах ландшафтов, включение в биогенный поток.

Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС *должны быть комплексными* и проводится поэтапно по научной программе специалистами естественнонаучного профиля (не экономистами и не менеджерами) как в *фоновых (заповедники, лесопарки), так и в загрязненных природно-антропогенных экосистемах сопряженно*.

Словарь терминов (глоссарий)

Аккумуляция загрязнителей биотой	*Это накопление* в живых организмах мобильных форм экотоксикантов из воздуха, почвы и природных вод; для расчета используют коэффициент биогенного накопления $k_{бн}$
Сорбция	Процесс поглощения молекул и ионов на поверхности раздела фаз сорбента; различают физическую, химическую и физико-химическую сорбции.
Десорбция	Процесс вытеснения (в статике или в динамике) поглощенного химического элемента или вещества из массы сорбента более сильно сорбируемым химическим соединением.
Выходная кривая	Кривая на графике в координатах C_p – m, отражающая перераспределение вещества по слою сорбента при его динамическом вытеснении.
Иониты	Минеральные и синтетические органические ионообменники используемые для очистки водных растворов от катионов и анионов. Широкое

	распространение получили отечественные иониты: катионит КУ-2 и анионит АВ-17.
Ионный обмен	Стехиометрический процесс обмена ионов, находящихся в растворе (жидкая фаза), на эквивалентное количество обменных ионов твердой фазы сорбента. Характеризуется константой ионного обмена $k_{обм}$.
Комплексообразование	Процесс формирования в водных растворах новых форм химических соединений. Комплексное соединение – это сложная частица, в состав которой входят ион металла и лиганды (органические или минеральные). Комплексные соединения имеют следующие отличительные признаки: сложность молекулярно-массового состава, частичная диссоциация на компоненты в растворе, наличие структуры вокруг иона металла–комплексообразователя, устойчивость к миграции и самостоятельное существование в растворе.
Лиганды (их типы)	Лиганд – это вещество, содержащее хотя бы один донорный атом. Очень часто лигандами являются анионы или полярные молекулы. В качестве лигандов в водных растворах могут выступать молекулы воды (растворителя). Лигандами являются неорганические и органические анионы кислот.
Макроциклические лиганды	Это гетероциклические соединения, содержащие несколько донорных атомов, связанных мостиками, в частности, – CH_2 – CH_2 -. Подобные лиганды образуют еще более устойчивые комплексы, чем полидентатные (нециклические) аналоги. Только такой тип лигандов образует устойчивые комплексы с *ионами щелочных металлов.* Иначе их называют *краун* – соединения. По форме они напоминают «бабочку», «бублик»… В *смешанно лигандных* комплексах проявляются различные эффекты взаимного влияния лигандов. Так, *дитизон в присутствии пиридина* (или другого азотсодержащего основания) с ионами Ni^{2+} образует почти мгновенно цветной смешанно лигандный комплекс. Многие комплексы могут присоединять дополнительные катионы или молекулы, непосредственно не связанные прочно с центральным атомом комплексообразователя. Такие комплексы называют

	внешнесферными. Это частный случай ионных ассоциатов. Для спектрофотометрического определения Cu(II), Zn(II), Cd(II), Al(III), Sc(III) используют ионные ассоциаты их окрашенных хелатов с поверхностно-активными веществами (ПАВ). В электронных спектрах комплексов этих металлов наблюдается смещение полосы поглощения в длинноволновую область и усиление ее интенсивности.
Миграция	Условно (абиогенная или водная) – это перераспределение, в частности, в профиле почвы мобильных форм мигрантов при нисходящем потоке гравитационной влаги без активного участия биоты. Вертикальная нисходящая миграция веществ в профиле почвы представляет собой многократно повторяющиеся элементарные акты сорбции-десорбции.
Мобилизация (коэффициент)	Отражает соотношение масс конкретного химического элемента (например, органического углерода ВОВ) в жидкой (почвенный раствор твердой фазах (органогенные растительные остатки). $\mathbf{k_{моб}}$ определяют по выражению: $\mathbf{m_ж/m_{тв}}$ Параметр $m_ж$ диагностируют в почвах с помощью модификации метода сорбционных лизметров. Зная $k_{моб,}$ в частности, для ионов кальция, мобилизованных в раствор из известняка ($k_{моб}$ = 0,003), можно найти его массовую долю, умножив на 100 - 0,3% (или 300 мг/100г).
Неравновесные процессы в почвах и экосистемах	Отличаются устойчивым притоком информации в экосистему в виде масс веществ и энергии. Природные экосистемы, как правило, имеют несколько областей равновесия, а также стационарности. Стационарным можно назвать природный процесс, протекающий с постоянной скоростью. Неравновесный процесс, например, почвообразования может быть и стационарным. Устойчивость почвенного процесса тесно связана с функционированием экосистемы.
	Оценка воздействия антропогенеза на компоненты ландшафтов и экосистем: почвы, биоту, воздух, природные воды, а также на популяцию людей. ОВОС имеет юридическую базу и включает при

ОВОС	реализации несколько этапов. Наряду с социально-правовыми нормативами и актами, осуществляются эколого-геохимическое картирование изучаемых ландшафтов, выявление экологических рисков и предполагаемых нагрузок на почвы, воды и атмосферу, определение и расчет миграционных параметров ксенобиотиков, уточнение их трансформации и сорбции на барьерах миграции, а также включение в биогенный и абиотический потоки миграции. На после проектном этапе предусматривается *применение природоохранных технологий пользователями природных ресурсов*.
Почвенная система	Эта система включает различные генетические уровни организации почвенных масс: от ионно-молекулярного до профильного. Именно они, в известной мере, определяют устойчивость почвы как генотипа. Почва является подсистемой ландшафта.
Почвенный индивидуум (**педон**)	(soil individual) – это наименьший объем почвы, находящийся в пределах элементарной экосистемы – парцеллы.

Ответы и решения задач в системе ОВОС

(теоретические положения и методы решения задач при ОВОС)

В эко-геохимических задачах при проведении ОВОС рассматриваются следующие параметры, которые магистры должны уметь рассчитывать для конкретных условий почв и ландшафтов:

1. градиент барьера миграции G,
2. коэффициент мобилизации $k_{моб}$,
3. масштаб миграции M,
4. коэффициент (интенсивность) водной миграции $k_{миг}$,
5. коэффициент обновления гумусовых веществ $\mathbf{k_{обн}}$ компонентами ВОВ,
6. средняя скорость биодеградации **β** органических веществ в составе растительных остатков.

Магистранты должны научиться интерпретировать найденные значения; уметь охарактеризовать качественное уравнение материального гумусового баланса почвы.

В основу методики решения эко-геохимических задач в системе ОВОС заложено понимание почвенных и эколого-геохимических процессов, протекающих в нативных и аграрных ландшафтах. Нужно знать движущие силы, обусловливающие превращения и водную миграцию как продуктов почвообразования, так и экотоксикантов. Понимать особенности эколого-геохимического функционирования физико-химических барьеров миграции, а также *отличать химическую и биогеохимическую растворимости труднорастворимых веществ в почвах*. Полезно помнить основные *математические выражения*, используемые для расчета эко-геохимических параметров. Указанные положения достаточно подробно рассмотрены ранее. Ниже будут освещены несколько методических подходов, используемых при решении задач с экогеохимической

направленностью. Напомним, задачу сначала нужно попробовать решить *логически* на основе используемых единиц измерения. Некорректно, например, делить величину масштаба миграции вещества (10 г/**м**^{2}) на мощность почвенного горизонта 22 **см**. Здесь должны быть одинаковые единицы измерения: г/**м**^{2} делим на 0,22 **м** = 45,5 г/**м**^{3}.

Примеры решения типовых задач в системе ОВОС

A – самые простые,
B – более сложные,
C – задачи повышенной сложности.

Задача № 1 (A)

Градиент барьера миграции **G** равен соотношению разницы величин мигрируемых масс ионов кадмия (на «входе» и «выходе» из барьера миграции) к мощности самого барьера. Отсюда:

$$\mathbf{G} = \frac{m_1 - m_2}{l} = \frac{5{,}0 - 2{,}6}{0{,}22\ м} = 10{,}9\ \mathbf{г/м^3 \cdot год^{-1}}.$$

Ответ: 10,9 г/м^3·год$^{-1}$.

Задача № 2 (A)

Коэффициент (константа) мобилизации $\mathbf{k_{моб}}$ равен отношению масс мигранта в жидкой и твердой фазах. Следует помнить, если величину $k_{моб}$·100, получим массовую долю ионов металла, %.

Отсюда: 1) проводим пересчет: 0,004% - это 0,004 г/100 г;

2) находим $k_{моб}$ = 20 мг/4 мг = 5, или 0,05. Получим 0,05%.

Ответ: 0,05 или 5%.

Задача № 3 (A)

Коэффициент мобилизации $\mathbf{k_{моб}}$ равен отношению масс изучаемых веществ в жидкой и твердой фазах. Отсюда $m_{ж.ф.}=k_{моб}\cdot m_{тв.ф}=0{,}0032\cdot 37{,}5 = 0{,}12$мг ионов свинца на 1кг мелиоранта.

Задача № 4 (C)

Известно (Кауричев, Яшин, 1996), что коэффициент миграции $k_{миг} = m_{миг}/A$, тогда для ионов Fe^{3+}: $k_{миг}$ = 326 мг/2700 мг = 0,12, а для кремния: $k_{миг}$=3108 мг/54000 мг = 0,06.

Ответ: ионы железа мигрируют в 2 раза активнее, чем анионы кремния.

Задача № 5 (**C**)

а) *математическое обоснование*:

1. Величина растительного опада $O_п$ (min), поэтому этой величиной можно пренебречь;
2. Тогда равенство $O_п \cdot k_г = B \cdot k_{мин}$ превращается в неравенство: $k_г \neq B \cdot k_{мин}$.
3. Отсюда B (запас гумуса) зависит от соотношения величин $k_г$ и $k_{мин}$.

В оптимуме $k_г = k_{мин}$ (речь идет о гумусе почвы).

Задача № 6 (В)

В этих условиях величиной В (запасы гумуса) можно пренебречь: почва заметно деградирована. Тогда вносимые при рекультивации растительные остатки будут трансформироваться в направлении гумификации и минерализации (учесть географические и климатические условия ландшафта). Участие компонентов ВОВ в обновлении гумуса будут минимальны. Если условия закрепления гумуса благоприятны ─ будет наблюдаться постепенное накопление продуктов гумификации. В этих условиях соблюдается неравенство: $O_п \cdot k_г \neq k_{мин}$.

Задача № 7 (**С**)

1. Находим концентрацию ионов железа в растворе из соотношения :
$k_{моб} = m_ж/m_{тв}$, тогда $0,005 = m_ж/4,5$. Откуда $m_ж = k_{моб} \cdot m_{тв} = 0,005 \cdot 4,5\% = 0,0225$ г/100 г или 0,225 г/л.

1. Рассчитываем коэффициент (константу) миграции

$k_{миг} = \dfrac{m \cdot 100}{a_x \cdot н_x} = \dfrac{0,225 \cdot 100}{0,25 \cdot 4,5} = 20$. Это средняя величина $k_{миг}$; низкая до 10, высокая > 100. Так мигрируют ионы Cl, Br… .

Ответ: $\mathbf{k_{миг}} = 20$.

Задача № 8 (**С**)

Ответ: в 29 раз $k_{мин}$ Zn > $k_{мин}$ Si.

Задача № 9 (В)

Ответ: 0,66 г/м^2·год$^{-1}$ ионов $\mathbf{Pb^{2+}}$.

Задача № 10 (**С**)

Необходимо кратко отметить полевые этапы изысканий по составлению ландшафтно-экологической карты: *рекогносцировка, маршрутный метод, «ключевой» и стационарный*. $k_{миг}$ рассчитывается для элементарных геохимических ландшафтов.

Задача 11 (**В**)

Ответ: примерно один процент (это 1г/100 г или **10 г/кг почвы**).

Задача 12 (В)

Ответ: 25 лет. В почвах агроэкосистем это условие не соблюдается: в разные сезоны года наблюдаются разные скорости процессов мобилизации и трансформации молекул органических веществ.

Задача № 13 (В)

Решать эту задачу нужно с помощью ландшафтно-экологического картографирования.

Задача 14 (А)

Ответ: 0,23. Это довольно заметная скорость потока мигранта в почве.

Задача № 15 (В)

Ответ: 0,07.

Яшин Иван Михайлович
Раскатов Вячеслав Андреевич

Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС

Научный редактор – **профессор Яшин И.М.**
Компьютерный набор – **Яшина М.И.**

Отпечатано с готового оригинал-макета.

ИД № от 27.12.2013		
Подписано в печать 29.12.13		
Гарнитура «Таймс»	Бумага офсетная	Печать офсетная
Усл. печ.л.	Уч.-изд.л.	Усл. кр.-отт.
Тираж 500 экз.	Изд. № 36	Заказ №

АНО «Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 44