

ЯШИН И.М.

**ЭКО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА НА
ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ**



МОСКВА 2014



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)

Факультет почвоведения, агрохимии и экологии
Кафедра экологии

ЯШИН И.М.

**ЭКО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ПРОИЗВОДСТВА
НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ**

Интерактивный курс

**направление «Экология и природопользование»
профиль «Экология»**

Москва 2014

УДК 504.54: 631.42
ББК 40.35:85-118-7
Б33

Автор: доктор биологических наук, профессор И. М. Яшин.

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. Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды. Интерактивный курс. М.: РГАУ-МСХА, 2014. 124 с.: ил. (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

В учебном пособии представлена информация, раскрывающая эко-геохимическую оценку воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды. Охарактеризованы, с одной стороны, некоторые почвы и ландшафты, обуславливающие гидрохимический состав поверхностных природных вод. А с другой – рассмотрены возможные источники загрязнения поверхностных вод в сфере аграрно-промышленного производства, их влияние на почвы и воды. Показана важная роль изысканий в выявлении экологических рисков и *предполагаемых антропогенных нагрузок на почвы, воды и атмосферу*. Обращается внимание на диагностику и расчет *миграционных параметров* ксенобиотиков, уточнение их трансформации и сорбции на почвенных барьерах миграции, а также включение в биогенный и абиотический потоки миграции. Отмечается, что *экологическая безопасность поверхностных вод* неразрывно связана с почвенным покровом и состоянием ландшафтов, прилегающих к водоемам.

Рассматриваются также наиболее эффективные методы оценки эко-геохимического состояния поверхностных вод, методы их глубокой очистки для пищевых целей, фармакологии, медицины, химической промышленности. *Вместе с тем обращается внимание, что глубокая очистка воды для пищевых целей может быть опасная с экологической точки зрения: такая вода почти не содержит катионов и анионов – это «мертвая» вода. До сих пор на этот важный факт никто не обращал внимания.*

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

Учебное пособие опубликовано при финансовой поддержке Европейского Союза. Перепечатка и любое использование материалов данной книги проводится только с согласия автора. По некоторым вопросам точка зрения специалистов Европейского Союза и автора книги может не совпадать. Эти позиции будут согласованы на консультациях, тренингах и творческих дискуссиях.

На обложке: *эко-геохимический состав поверхностные вод тесно связан с состоянием почв близлежащих агроландшафтов (их плодородием, эрозией) и применением удобрений. Травосеяние – эффективный прием защиты почв от эрозии на склонах. Переславльский район Ярославской области, ОАО учхоз «Дружба» (фото Яшина И.М., 2014).*

ISBN

© Яшин И.М., 2014

© РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Модуль 1. Эко-геохимическая оценка агроландшафтов	
1.1. Характеристика некоторых агроландшафтов	
1.2. Оценка состояния и функционирования агроландшафтов.....	
<i>Вопросы для самоконтроля.</i>	
Модуль 2. Типы поверхностных природных вод и эко-геохимическая оценка процессов их загрязнения	
2.1. Типы поверхностных вод суши.....	
2.2. Источники химического загрязнения природных вод.....	
2.3. Методы эколого-гидрохимического контроля поверхностных вод....	
2.4. Методы оценки водной миграции загрязнителей в почвах	
<i>Вопросы для самоконтроля.</i>	
Модуль 3. Эко-геохимические риски и их влияние на поверхностные воды	
3.1. Аридизация климата, засухи, пожары, засоление черноземов.....	
3.2. Эко-геохимическая оценка «плужной подошвы» почв.....	
3.3. Эко-геохимическая оценка «чистых паров» и загрязнение вод.....	
<i>Вопросы для самоконтроля.</i>	
Модуль 4. Роль почвенного покрова в экологической безопасности поверхностных природных вод	
4.1. Эко-геохимическая оценка влияния почв на природные воды...	
4.2. Процессы почвообразования и качество природных вод.....	
4.3. Роль почвенно-геохимических барьеров миграции в защите	
поверхностных вод (прудов, родников, рек и озер) от загрязнения.....	
<i>Вопросы для самоконтроля.</i>	
Модуль 5. Эко-геохимическое нормирование загрязнения природных вод и управление водными ресурсами	
5.1. Критерии, расчетные индексы загрязнения поверхностных вод и показатели оценки их экологической безопасности.....	
5.2. Методы определения некоторых токсикантов в водах.....	
5.3. Эко-геохимическая оценка химического загрязнения почв.....	
<i>Вопросы для самоконтроля</i>	
<i>Тесты</i>	
Заключение	
Словарь терминов (глоссарий)	
Сведения об авторе	

ВВЕДЕНИЕ

Модульный курс «*Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды*» является одним из актуальных в программе TEMPUS (№ 530397-TEMPUS-1-2012-1-SK-TEMPUS-SHMES, «STREAM») Европейского Союза. Курс подготовлен к изданию профессором кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Яшиным И.М. в 2014 году. В учебном пособии использованы не только литературные сведения, но и собственные экспериментальные результаты многолетних исследований на стационарах в Карелии, Архангельской, Московской, Ярославской, Тверской и Саратовской областях. Некоторые результаты наблюдений, которые приведены в учебном пособии, опубликованы в научных журналах и апробированы на научных конференциях; их можно найти в списке литературы по модулям. Настоящий модульный курс «*Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды*» включает 5 модулей с вопросами для самоконтроля и тестами. Список литературы имеется в каждом модуле и включает как отечественные, так и зарубежные публикации специалистов. Завершает книгу глоссарий и сведения об авторе.

В модульном курсе «*Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды*» особое внимание обращается на методологию эко-геохимической оценки почв и их влияния на качество вод. В отличие от *агрохимического* и *земледельческого подходов* при эко-геохимической оценке функций почв исследуются не только пахотный горизонт, но и *полно профильные разрезы на глубину 150-250 см* (и более в черноземах). Важно понять, что почвы проявляют известный дуализм: являются, с одной стороны, *самостоятельными природными телами*, а с другой – выступают компонентами агроэкосистем. Поэтому при эко-геохимической оценке защиты поверхностных вод от воздействия сельскохозяйственного производства необходимо знать, какую роль в этом играют почвы и почвенный покров агроландшафтов. В этой связи наряду со свойствами пахотного и гумусово-аккумулятивного горизонтов, внимание обращается и на глубже залегающие генетические горизонты (например, карбонатно-кальциевые, засоленные, глеевые – то есть на барьеры миграции), свойства которых оказывают существенное влияние на состояние веществ пахотных горизонтов, а также на мигрируемые загрязнители. Это относится, прежде всего, к СПАВ, нитратам, пестицидам, ионам тяжелых металлов (ТМ), микотоксинам, диоксидам и иным.

Нами установлено, например, что некоторые экотоксиканты могут находиться в разных генетических горизонтах в режиме сезонной водной пульсации (вверх-вниз), не покидая профиля почвы и не достигая ежегодно уровня грунтовых вод (это не относится к почвам таежной зоны и лесостепи). В то же время химические соединения в ионно-молекулярной форме могут

поглощаться биотой (и сельскохозяйственными культурами), включаясь в биогенный круговорот и мигрируя уже по пищевым цепям: растения – с.-х. животные – люди и вызывать болезни (Яшин И.М., 2013). В этой связи, чтобы иметь более полное представление о *биогеохимической системе* биота – почвы – поверхностные воды – химические загрязнители (твердые, жидкие, газообразные), *следует понимать своеобразие агроландшафтов, почвенного покрова, биоты и самих загрязнителей*. Нужно четко знать процессы взаимодействия веществ в данной экосистеме и механизмы реакций, особенно при водной миграции в почвах экотоксикантов. Эти вопросы нами кратко и обсуждаются в книге на фактическом материале.

Обращается внимание также на *оценку загрязнения и нормирование загрязнителей поверхностных вод*. Известно, что в настоящее время используется параметр *предельно-допустимая концентрация* (ПДК) – санитарно-гигиенический расчетный параметр. Он ранее был предложен для оценки качества продуктов питания, что правомерно. Затем его применили для оценки загрязнения почв и вод ландшафтов. Показатель ПДК условный. Рассмотрим это на примере. Допустим, отмечается, что ПДК для свинца в почве 32 мг/кг. Во-первых, для почв это будет *содержание свинца* в твердой фазе, а не концентрация (последняя характерна для растворов). Во-вторых, непонятно, какая форма свинца в этом ПДК имеется ввиду: водорастворимая, кислоторастворимая, органоминеральная, валовая? В-третьих, не известно, о какой почве и каком ландшафте идет речь: тропическом, тундровом, сухостепном? В каждом из них будут совершенно различные направленность и скорость процессов трансформации экотоксикантов и продуктов почвообразования. Значит, и предельно допустимые ПДК (лучше говорить о предельно допустимых массах загрязнителей, рассчитанных в модельных опытах с конкретной биотой) будут различными в разных ландшафтах. Почему же *рекомендуют ошибочные значения ПДК*? Это характерно для разных государств и их федеральных уровней. На самом деле такой подход некорректный и должен быть обязательно решен с помощью биогеохимической методологии.

Далее. Рассмотрим отличие традиционного параметра ПДК от предлагаемой нами предельно допустимой массы (ПДМ) экотоксиканта. *Концентрация химического элемента – это начальный этап диагностики загрязнителя в поверхностных водах*. 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 примерно 3,0 л/сут x 365 сут. = 1085 л воды. Затем 0,04 мг/л x 1085 л = 43,2 мг ионов свинца попадет в организм с водой). Это за 1 год, а, например, за 15 лет – **648 мг**. Это очень много. Данную массу экотоксиканта (ионов свинца) дает только питьевая вода. *Зная качество воды, воздуха, почв, продуктов питания, можно прогнозировать будущие болезни людей (животных) и нарушения обмена*

веществ. Начинать оценку здоровья людей нужно с их питания и оценки воздуха. Здоровая почва – здоровые продукты.

Учебный материал модульного курса *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 выделения учебного материала с помощью восклицательных (и иных) знаков и курсива. В конце каждого раздела (модульной единицы) имеются *тестовые задания*, выполнение которых позволяет активизировать учебную деятельность студентов и закрепить полученные ими знания. Завершает учебное пособие словарь основных терминов (глоссарий) и сведения об авторе.

Структура и содержание модульного курса «Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды» согласованы и апробированы с участием автора на координационных совещаниях по проекту ТЕМПУС, которые проводились в Москве (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – апрель, июнь 2013), в Вене Австрия (университет ВОКУ, апрель 2013), в Краснодаре (университет КубГАУ, октябрь 2013). Некоторые разделы данной дисциплины уже преподаются мною в курсах «Методы экологических исследований», «Экогеохимия ландшафтов», «Геоэкология» и «Учение о гидросфере» на кафедре экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева для бакалавров 2 и 3-го курсов.

Использование материалов настоящего модульного курса (перепечатка, копирование) без разрешения Яшина И.М. запрещается. Некоторые положения, изложенные в книге, могут не совпадать с точкой зрения специалистов университетов ЕС. Они будут согласованы на семинарах и тренингах в университетах РФ и ЕС в процессе работы над модульным курсом «Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды».

Автор признателен рецензентам – профессорам **Шеину Е.В.** (МГУ имени М.В. Ломоносова) и **Савину И.Ю.** (Почвенный институт имени В.В. Докучаева) за творческие дискуссии и ценные замечания при прочтении рассматриваемого модульного курса.

Автор заранее благодарит читателей за предложения по улучшению содержания книги. Их можно прислать по адресу: ivan.yashin2012@gmail.com

С уважением, профессор И.М. Яшин.
«27» августа 2014 г.

Модуль 1

Эко-геохимическая оценка агроландшафтов



Вы будете изучать:

- Виды агроландшафтов,
- Особенности геохимических агроландшафтов,
- Виды и особенности географических агроландшафтов,
- Состояние агроландшафтов,
- Функционирование агроландшафтов.

Цели модуля:

- Охарактеризовать генезис агроландшафтов,
- Объяснить функции агроландшафтов,
- Уточнить взаимосвязь полевых и иных ландшафтов,
- Рассмотреть природоохранную роль агроландшафтов.

После изучения модуля вы сможете:

- Знать генезис и диагностику агроландшафтов,
- Уметь проводить экологическую оценку агроландшафтов,
- Уметь провести эко-геохимическую диагностику агроландшафтов,
- Уметь отличать одни ландшафты от других,
- Владеть методами оценки эко-геохимической ситуации,
- Осуществлять природоохранную деятельность в агроландшафтах.



Основная литература

1. Экологическая экспертиза. Под ред. В.М. Питулько. М.: АСADEMIA. 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



Аннотация

В модуле 1 рассматривается эко-геохимическая характеристика агроландшафтов: их виды, особенности и функционирование. *Аграрные ландшафты – это антропогенно измененные ландшафты, созданные людьми целенаправленно.* Раньше они создавались примитивно, например, путем выжигания лесов на Севере. Эти ландшафты не нужно противопоставлять нативным, поскольку они развиваются в тех же биоклиматических условиях. Поскольку агроландшафты располагаются рядом с нативными аналогами, необходимо комплексное исследование взаимосвязанных фаций, урочищ и ландшафтов изучаемой территории. *Наряду с полевыми выделяют лугово-пастбищные, садово-огородные, пойменные и другие ландшафты.* Их полная оценка представлена в книге «Ландшафтоведение» под ред. И.М. Яшина, 2004.

Исследуя антропогенно измененные ландшафты, специалисты решают проблемы *рационального природопользования и охраны природы.* Наряду с экологическими и эколого-геохимическими задачами освещаются экономико-географические: размещение промышленности, населения, сельского хозяйства и транспорта, рекультивация земель, прогноз развития агроландшафта при использовании удобрений, известковых мелиорантов и химических средств защиты растений; их влияние на природные воды. Эти вопросы рассматриваются кратко. Например, нельзя в поймах крупных рек размещать населенные пункты и свалки, промышленные объекты. *Нередко это важное экологическое правило нарушается.* Так, в пойме реки Лены РФ, какой год уже наводнения уничтожают населенные пункты, а государство в очередной раз в короткие сроки их восстанавливает. Вместо этого, людей нужно отселить в безопасное место – на высокую террасу или коренной берег. *Но людям это не выгодно:* ловить рыбу, создать огород, брать воду из реки будет неудобно, **далековато.** И таких примеров много. Например, в поймах многих рек Подмосковья размещено более 80% различных свалок, загрязняющих и почвы, и воды, и овощную продукцию. Конечно, подобное отношение к почвам и ландшафтам приводит к активному загрязнению поверхностных вод. Рассмотрим эти положения подробнее.

Эко-геохимическая оценка агроландшафтов


Общие положения

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.

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. Наиболее характерным *внешним признаком ландшафтов является тип растительности,* обусловливаемый климатом региона. 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 *взаимосвязь и взаимозависимость* компонентов ландшафтов – атмосферы – биоты – почв – пород – поверхностных вод.

Нами будут рассматриваться таежные, лесостепные и степные ландшафты.

 В докладах XI-го съезда Русского географического общества (Архангельск, 2000 г.), были представлены, в частности, факты о глобальном изменении климата на Земле. Это будет способствовать интенсивной инверсии ландшафтных зон, сукцессиям живых организмов (болезням людей) и изменению социально-экономической инфраструктуры многих стран, дефициту продуктов питания и энергоресурсов. Подобное напряжение будет сглаживаться путем социально-экономических кризисов и войн.

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 и водными массами переносятся на сотни и тысячи километров, в иные регионы и государства, вызывая экологические кризисы и бедствия. Поэтому вопросам миграции нужно уделять особое внимание.

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 их гены. Программы обновления и кодирования белков нарушаются. Инстинкт, например, самосохранения высших видов организмов деградирует, а активизируется запуск иных биопрограмм, направленных, по-видимому, на самоуничтожение.

 *Не исключено, что это один из возможных механизмов защиты Биосферы Земли от антропогенеза и высоко развитых живых организмов (популяции людей), не соблюдающих экологические принципы.*

Наряду с указанным механизмом регулирования численности людей (источников техногенных продуктов и воздействия на Биосферу) могут реализовываться и иные направления: физические (звуковые) и другие явления, вызывающие панику и самоуничтожение, а также геодинамические процессы – сели, цунами, землетрясения, извержения вулканов.

1.1. Характеристика некоторых агроландшафтов

Геохимическая диагностика ландшафтов учитывает специфику географического пространства-времени, миграцию, а также превращение химических элементов в этом пространстве. Оно называется природно-территориальные комплексы (ПТК), состоящие из многих ассоциаций элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ), которые формируют ландшафты географической оболочки Земли.

Рассмотрим кратко их особенности, поскольку при оценке химического загрязнения почв, экосистем и *поверхностных вод важно знать источники загрязнения, транзитные ПТК и аккумулятивные ЭГЛ.*

Элювиальные (автономные или субаэральные) ЭГЛ занимают плакоры и водоразделы (местный, межбалочный, межовражный, междуречный). Их относительно повышенное положение в рельефе обуславливают поступление веществ в ландшафт в основном *из атмосферы, а в агроландшафтах с целевыми техногенными продуктами — из удобрений, мелиорантов, пестицидов, орошаемых вод, известковых мелиорантов.*

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 здесь в зоне тайги залегают глубже 3...5 м и не оказывают активного влияния на почвенные процессы. В пределах почвенного профиля *весной и осенью* может возникать верховодка, приводящая к развитию процессов поверхностного оглеения с интенсивным образованием водорастворимых органических веществ (ВОВ) с кислотными и комплексообразующими свойствами. *В подзолистых почвах плакоров господствуют элювиальные и элювиально-глеевые процессы.* В данных ЭГЛ формируются *зональные почвы* подзолистого типа при сочетании их ареалов с интразональными и внутри зональными (дерново-карбонатными и дерново-подзолистыми остаточно-карбонатными, например, регион Каргопольской суши в Архангельской области), в частности, на участках местности с близким залеганием кальцита и доломита.

На общем фоне элювиальных ЭГЛ по микро- и мезопонижениям 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.* Не исключена их активная трансформация и последующая абиогенная миграция в профиле почв (с участием ВОВ) с попаданием *в грунтовые воды* или даже постепенный возврат в верхние генетические горизонты в периоды иссушения и промерзания верхних горизонтов почв.

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. По характеру водообмена данные ЭГЛ можно отнести к ускоренному типу функционирования (Б. Ф. Апарин, 1994). 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), обуславливающая 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*), а сама территория приобретает характерные аккумулятивные формы рельефа. Осадкообразование усиливается на перегибах склонов и их переходах в делювиальный шлейф, где четко выражено развитие погребенных почв. Данные 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, межувалистым 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 внутри профильных потоков (на двучленах) с водоразделов и террас, подвергаются действию водных масс при разливах реки. Примеры: болотные и маршевые 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 (илогато-болотными) почвами, которые нецелесообразно отводить даже для комплексной мелиорации. *Осушительная система* в подобных ландшафтных условиях (например, в подзоне средней тайге)

довольно быстро выйдет из строя вследствие заиливания дренажа 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 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 РФ

Леса — сложный тип растительности, в котором роль эдификаторов принадлежит *вечнозелёным хвойным деревьям*. Поэтому при диагностике подзолистых почв почвенные разрезы следует закладывать не только в межкроновых пространствах, но и непосредственно под кронами деревьев, не повреждая их. Типология лесов, разработанная акад. В. Н. Сукачевым, находит и в настоящее время широкое применение. Тип леса характеризуется определенным составом и строением древостоя, особенностями возобновления древесных пород, наличием или отсутствием подлеска, спецификой травяно-кустарничкового и мохового покровов, своеобразием почв, определенным ритмом биогенной и абиотической миграции веществ и энергии.

В зоне тайги выделяют ряд подзон: северная, средняя и южная. Охарактеризуем кратко экологические аспекты 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 1): ее южная граница начинается у Двинского Берёзника в Архангельской области (63° с.ш.) и простирается на север до 66° с.ш.; недалеко 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 борovým террасам северных рек. Напомним, что леса России по запасам древесины составляют 27% мировых ресурсов. Только в

1991 г. было получено 250 млн. м³ так называемых коммерческих пород: лиственницы, кедра, сосны, ели и пихты бальзамической.



Рис. 1. Ландшафты северной тайги на острове Большой Соловецкий (вид с горы «Секирная» - 74 м над у.м.); проф. Яшин И.М. руководил почвенно-экологическими исследованиями по проекту РФФИ в Соловецких фоновых ландшафтах в период 2002-2004 гг. (фото Яшина И.М., 2004).

Антропогенная нагрузка на таежные ландшафты в последние десятилетия существенно повысилась, что привело к их заметному разрушению и масштабной деградации. Эти факторы являются движущими силами сукцессий в экосистемах. Крупномасштабные рубки и пожары, например в 2010 году нанесли особенно ощутимый урон экосистемам тайги во многих регионах РФ (рис. 2). Колоссальные потери лесных ресурсов наблюдаются в зоне *тайги при строительстве гидроэлектростанций* и заполнении водохранилищ. Помимо интенсивных заготовок древесины здесь активно проводятся 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. Безопасность жизни биоты находится под угрозой. Вообще зона тайги — самая большая по площади географическая зона России. Слово «тайга» имеет сибирское происхождение и обозначает хвойный лес. Тайга приурочена к зоне умеренного климата. *Тайга получает больше осадков, чем тундра* и лесотундра. Значительная их часть выпадает в виде снега. Зимы в тайге суровые. В Восточной Сибири распространена вечная мерзлота, а в Центрально-якутской низменности ее мощность достигает 500 м и более метров.

В ландшафтах тайги распространены болотные, глееподзолистые, подзолистые, болотно-подзолистые, а также дерновые и дерново-подзолистые почвы (локально при близком залегании CaCO₃), а также подзолы и

мерзлотные таежные почвы. Почвообразующие породы – бескарбонатная алюмосиликатная морена, покровные суглинки и водно-ледниковые наносы.

Среди лесных ландшафтов в зонах тайги и смешанных лесов широко распространены *луговые ландшафты*. Наибольшее распространение они получили в подзоне южной тайги после сведения лесов.



Рис. 2. Ландшафты средней и северной тайги России – объекты промышленных рубок в зимний сезон. Два негативных аспекта этого процесса: 1-й – нарушение почвенного покрова и 2-й – глубокие дорожные колеи - как дренажные каналы, иссушающие лесные урочища. Бурый цвет верховодки *оттеняет роль таежной биоты и почв* в формировании гидрохимического состава речных вод таежной зоны (фото И.М. Яшина, 2007).

Луговые ландшафты — это сложные травянистые ПТК, 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



Рис. 3 Полевые, лугово-болотные (*сенокосные*) и аквальные (водные) ландшафты подзоны южной тайги – ОАО учхоз «Дружба» Переславль-Залесского района Ярославской области (фото И.М. Яшина, 2009).

участках, где ранее были леса. На европейском Севере РФ луга интенсивно зарастают кустарником и древесной растительностью. Препятствуют этому регулярный выпас скота, сенокошение и мелиоративные мероприятия.



Рис. 4 Ландшафты лесостепи - зоны эрозии черноземов и активного оврагообразования; продукты эрозии мигрируют в пойму и речные воды, загрязняя их и заиливая русла рек (учхоз «Муммовское» Саратовской области), фото И.М. Яшина, 2013.

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

Пойменные луга отличаются сложными экологическими условиями, связанными с переменным режимом увлажнения почв и растительности. Среди растительности 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 с соавт., 1993). Лимитирующим экологическим фактором, например, для плодовых культур здесь является высокий уровень залегания грунтовых вод и оглеение нижних генетических горизонтов почв, что негативно сказывается на растениях.

Виды агроландшафтов

Среди агроландшафтов широко распространены луговые, полевые, пастбищные, сенокосные, огородные, садовые, мелиорированные, пойменные. Рассмотрим кратко их особенности и влияние *на экологическую безопасность поверхностных вод*.

Полевые агроландшафты. Иначе это пахотные участки (рис. 5). Их особенности заключаются в следующем. Используются короткий период



Рис. 5 Полевой агроландшафт в лесостепной зоне – участок оз. пшеницы на 1-й надпойменной террасе р. Б. Кольшлей – учхоз «Муммовское» Саратовской области: скоро уборка урожая (фото И.М. Яшина, 2011)



Рис. 6. Выбитое полынно-типчаковое *пастбище* на плакоре коренного берега реки Б. Кольшлей – учхоз «Муммовское» Саратовской области (фото И.М. Яшина, 2012).

времени – 2-3 месяца в году. Остальное время почвенный покров находится без растительности. Поэтому на склонах холмов и увалов активно развита эрозия (рис. 4). Продукты эрозии поступают в пойму и речные воды, загрязняя их. Аграрии, сами того не понимая, способствуют ухудшению качества поверхностных вод. Поэтому почвенный покров должен быть защищен растительностью (рис. 6,7). Если вносятся органические и минеральные удобрения, то и их компоненты вместе с частицами почвы достигают русла рек. *Происходит не только ухудшение качества вод, но и обмеление рек. Поэтому в полевых агроландшафтах необходимо внедрять занятые (не «чистые») пары и почвозащитные севообороты. На склонах не возделывать пропашные культуры.*



Рис. 7. Скошенный окультуренный сенокос на 1-й надпойменной террасе р.Б. Колышлей – учхоз «Муммовское» Саратовской области (фото И.М. Яшина, 2012).



Рис. 8. Пойменные ландшафты реки Трубеж, впадающей в знаменитое **Плещеево озеро**, в Переславле Ярославской области были богаты сенокосами и охотничьими угодьями, а в настоящее время они отведены под дачи; речные воды активно загрязняются бытовыми стоками из-за отсутствия канализации (фото Яшина И.М., 2009).

Луговые, сенокосно-пастбищные агроландшафты довольно близкие по генезису и экологическим функциям. Их экологическая роль в агроландшафтах более выигрышная в сравнении с полевыми (пахотными) аналогами: они защищают почвы склоновых участков от эрозии, а поверхностные воды от заиливания и загрязнения (рис.9).

В принципе, в севооборотах нужно соблюдать научно обоснованное соотношение распаханых и защищенных растениями угодий. Пашня не должна превышать 17-20% площади сельскохозяйственных угодий.



Рис. 9. На Европейском Севере РФ **деревни издавна** располагались по берегам крупных рек (*рядом были вода, лес и луга*); пока поселения были небольшие воды реки почти не загрязнялись на этом участке, *но с активизацией антропогенной нагрузки за счет **сплава леса, судоходства, развития животноводства, полеводства и огородничества*** речные воды становятся мало пригодными сначала для пищевых целей, а затем и для речных гидробионтов; при этом нужно учесть нагрузку на всем протяжении реки от истока до устья (фото Яшина И.М., 2004).

Садовые и огородные агроландшафты – особые типы, поскольку требуют наиболее плодородных и с мощным гумусово-аккумулятивным горизонтом почв. *Такие ландшафты образуют интенсивный круговорот веществ.*

Поэтому в их почвы нередко вносят высокие дозы органических и минеральных удобрений. Промышленные сады, расположенные на склонах холмов и увалов, и без травянистого покрова, становятся источниками эрозии и загрязнения водоемов. Поэтому нередко в междурядьях садов в настоящее время оставляют травы, что правильно с экологических позиций.

Пойменные ландшафты – это важные площадные барьеры миграции. Пока есть пойма у реки ее загрязнение эрозионными частицами небольшое; *частицы осаждаются в притеррасной части поймы.* Заиливание русла реки почти не наблюдается. В основном же *загрязнение речных вод* при наличии поймы происходит за счет водной внутрипочвенной и латеральной миграции на ионно-молекулярном уровне. *Продукты эрозии поступают из оврагов террас и размывают притеррасные пойменные участки.* Поэтому они часто и заболачиваются. Здесь обычно гнездятся птицы, а звери делают лежки. В притеррасной части поймы нередко формируются *старицы* с чистой и прогретой водой – самые удобные места для рыбной ловли и охоты на уток.

В этих ландшафтах часто организуют высокопродуктивные огороды. Чтобы охранять свои участки люди строят здесь же сначала небольшие сараи, а затем и настоящие дачи. Антропогенная нагрузка на почвы поймы и поверхностные воды стремительно возрастает и достигает критического уровня. У людей начинаются эндемии – болезни.



В поймах рек нельзя располагать свалки, строить дачи и дома.

В половодье все постройки (как и крупные свалки) будут смыты речной во-

дой. Строить производственные объекты и жилье нужно на речных террасах и плакорах, вдали от русла реки (1,5 – 2) км.

1.2. Оценка состояния и функционирования агроландшафтов (Эко-геохимическая оценка зон загрязнения ландшафтов)

Среди оценок состояний агроландшафтов эко-геохимическая является одной из самых важных и информативных, поскольку отражает комплексный подход при их исследовании.

Комплексная оценка эко-геохимического состояния агроландшафтов включает ряд взаимосвязанных блоков и этапов исследований:

- **первый** - это установление **источников** химического загрязнения агроландшафтов. К ним относятся не только средства химической защиты растений, удобрения и мелиоранты, но и продукты промышленных предприятий, автотранспорта, теплоэлектростанций и другие.

- **второй** – оценка в натуре транзитных ландшафтов (склоны моренных холмов и гряд), которые принимают экотоксиканты и в которых происходит их трансформация, водная и твердофазная (эрозионная) миграция.

- **третий** – характеристика депонирующих ландшафтов (межувалистые понижения, поймы рек, болота, а также ручьи, реки и озера – местные базы эрозии). В них наблюдается аккумуляция техногенных экотоксикантов, их превращение и миграция. Важное значение здесь имеют процессы почвообразования при устойчивом переувлажнении почв.

Среди источников загрязнителей следует отметить *аэральные выпадения* пыли, сажи и кислотных дождей. Особенно масштабные в аномально жаркое лето 2010 г. По сведениям Ю.Е. Саета (1988) и М.А. Глазовской (1988) запыленность промышленных городов *центра Русской равнины* составляет 50-150 кг/км² в сутки, а в фоновых лесных ландшафтах она в 5-10 раз меньше. *Тонкодисперсные частицы пыли* способны сорбировать аэрозоли, содержащие сильные (новообразованные) минеральные кислоты (H₂SO₄, HNO₃...), 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 научиться нормировать загрязнения экосистем.

При эколого-геохимическом картографировании агроэкосистем учитывают виды близлежащих промышленных производств и их возможное влияние, например, на кислотно-основные параметры почв сельскохозяйственных ландшафтов. Так, цементные и строительные заводы (например, в Воскресенском районе Подмосковья), предприятия черной металлургии способствуют подщелачиванию почв. Причем величина рН снеговых вод вблизи этих объектов достигает величин 8,2-9,4. В составе поглощающего комплекса почв увеличивается содержание ионов кальция и магния. Напротив, *теплоэлектростанции на угле, нефтехимические заводы, цветная металлургия и терриконы угольных шахт* приводят к заметному 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 почв, **защищая поверхностные воды от загрязнителей**. 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.

В поверхностные воды проникают небольшие количества указанных токсикантов. Они мигрируют в форме комплексных органоминеральных соединений.

Модуль 2
Типы поверхностных природных вод и
эко-геохимическая
оценка процессов их загрязнения

Вы будете изучать:

- Типы поверхностных природных вод,
- Влияние сельскохозяйственного производства на качество вод,
- Источники химического загрязнения природных вод,
- Методы эколого-гидрохимического анализа поверхностных вод,
- Методы оценки водной миграции загрязнителей в почвах.

Цели модуля:

- Охарактеризовать поверхностные воды,
- Объяснить источники химического загрязнения,
- Уточнить взаимосвязь поверхностных вод с почвами и ландшафтами,
- Рассмотреть методы изучения компонентов поверхностных вод.

После изучения модуля вы сможете:

- Знать поверхностные воды,
- Уметь проводить анализы поверхностных вод,
- Уметь провести оценку взаимосвязи почв и поверхностных вод,
- Уметь отличать чистые и загрязненные воды,
- Владеть методами оценки качества поверхностных вод,
- Осуществлять природоохранную деятельность в агроландшафтах.



Основная литература

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

Дополнительная литература

1.1. Типы поверхностных вод суши

Поверхностные воды суши играют важную роль в Биосфере Земли. Сведения о них подробно излагаются в соответствующих дисциплинах - «Гидрология», «Гидрография», «Гидрогеохимия» и иных. Поэтому в настоящем учебном пособии рассматривается информация только о

поверхностных водах – *прудах, озерах и речных системах* и их взаимосвязи с почвами и ландшафтами. Указанные вопросы привлекают внимание самых различных специалистов. Еще *Александр Гумбольдт* в своих лекциях («Kosmos Vorlesungen», 1827), прочитанных в Королевском университете в Берлине, отмечал значение ландшафтов и вод в жизни людей. Основоположник научного почвоведения *В.В. Докучаев* исследовал почвы с географических позиций: почвы являются незаменимым компонентом и продуктом конкретных ландшафтов. *Он первый предложил изучать почву как производную от пяти факторов почвообразования – климата, растительности (биоты), рельефа, почвообразующих пород и возраста ландшафта.* Будучи профессиональным геологом, В.В. Докучаев отчетливо представлял значение рельефа, горных пород и ландшафта в формировании, развитии (эволюции) и пространственной дифференциации почв и их влиянии на поверхностные воды. В этой связи выглядит вполне логично, что именно В.В. Докучаев первый обосновал *закон географической зональности* на Земле (в кн. «К учению о зонах природы», 1899).

В данном разделе основное внимание уделяется оценке взаимодействия человеческой популяции (и продуктов антропогенеза) с компонентами водных экосистем. В этой связи уместно напомнить работы В.И. Вернадского (1922-1924) о *ноосфере (новом состоянии биосферы - сфере разума)*, озвученные им на лекциях в Сорбонском университете в Париже. Учение о биосфере, еще не получившее полного обоснования, развивается в тесном контакте с биогеохимией. Ноосфера – сфера разума. Однако достичь подобного уровня жизни на Земле крайне трудно. И здесь роль воды и водных ресурсов исключительно важная, поскольку отмечается острый дефицит пресных вод в Африке, Австралии, Средней Азии, на Ближнем Востоке, в Саудовской Аравии и в Китае. В этой связи даже рассматривается «подвоз» небольших айсбергов в Аравию, Австралию и Африку.

Водные экосистемы, как известно, могут быть морскими и пресноводными. Среди пресноводных акваэкосистем рассматриваются озера, реки, водохранилища, пруды. Особое место здесь отводится изучению искусственно созданных водных ландшафтов – водохранилищ, осушенных болот, прудов в зоне степей (нативные болота являются источникам питания равнинных рек таких, например, как Волга), аграрных экосистем. В последних специалисты применяют химические средства защиты растений, органические и минеральные удобрения, а также химические мелиоранты. Поэтому вновь созданные агроэкосистемы *испытывают мощную химическую нагрузку*, усиливающуюся со временем. Химически активные, и новые для Биосферы вещества, включаются в трофические цепи, загрязняя корма, продукты питания и природные воды (пруды, озера, родники). В этой связи необходима диагностика *загрязнителей* (сведения об их составе, свойствах и формах миграции, а также об их экологическом нормировании).

Решение проблемы, связанной с *экологическим нормированием ксенобиотиков*, определяется целым рядом факторов. Назовем четыре из них.

- Во-первых, необходима оценка *источников загрязнения* (их масштаб выпадений, химический состав и свойства, а также распределение по элементам водного ландшафта);

- Во-вторых, следует знать *химические свойства целого ряда экотоксикантов – ионов тяжелых металлов и др.*, а также синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), углеводородов в составе нефти - их пороговые концентрации, методы диагностики и поведение в различных биогеоценозах.

- В-третьих, важно определить *современное экологическое состояние компонентов ландшафтов, прилегающих к водоемам*, и на этой основе разрабатывать и совершенствовать существующие нормативы оценки их загрязнения.

- В-четвертых, поскольку здоровье человеческой популяции тесно связано с особенностями (и биогеохимическим качеством) всех ландшафтов, экологическое нормирование распространяется и на *адаптационные возможности людей* в условиях интенсивного промышленного антропогенеза. При этом проводится также оценка *устойчивости и биоразнообразия экосистем*.

Важно понять, что основную массу загрязнителей *люди получают с воздухом и водой*. Поэтому их изучение и очистка являются приоритетными.

Существующая парадигма «*контроль*» ксенобиотиков обеспечивается системой показателей: предельно допустимая концентрация (ПДК), предельно допустимый выброс (ПДВ), остаточно-допустимая концентрация (ОДК) и ряд других. Отметим, такой подход не учитывает региональные особенности ландшафтов. Последнее можно установить с помощью парадигмы «*предупреждение*», основанной на оценке биогеохимических потоков загрязнителей в наземных экосистемах и поступление части мигрантов в водные источники. Нормативы здесь иные, *не статичные*, а вытекающие из специфики функционирования биоты (и популяции человека) в определенных нативных и антропогенно-модифицированных ландшафтах, например агроэкосистемах. В этой связи эти вопросы рассматриваются как в сухопутных, так и в водных экосистемах.

При исследовании экологической ситуации необходимо знать *основные компоненты* ландшафтов (почвы, растительность, породы и природные воды – их состояние, структуру), принципы организации и функционирование наземных и водных экосистем, а также *консорции, сукцессии биоты, дигрессии ландшафтов и экотоны*. Все эти объекты неразрывно связаны друг с другом. Поэтому качество природных вод – отражает состояние наземных экосистем и ландшафтов.

Важно научиться правильно использовать картографические материалы – топографические карты, фотопланы с горизонталями, аэрофотоснимки. *С их*

помощью проводится маршрутное картографирование ландшафтов и выделение контуров почв, растительности и урочищ, оценка акваторий водохранилищ, озер и болот. Актуально также знать особенности взаимодействия химических продуктов антропогенеза с компонентами водных экосистем: донными осадками, биотой и газами с учетом экологической безопасности, приоритета качества жизни популяции людей и устойчивого развития биосферы. Знать, откуда появляются сине-зеленые водоросли, резко ухудшающие качество водных источников. Они помогают становлению экологического мировоззрения студентов. При этом особое внимание обращается на *рациональное использование водных ресурсов*, их картографирование и сохранение биоразнообразия.

Кратко напомним основные термины из ландшафтоведения. Ландшафты - это *природно-территориальные комплексы (ПТК)*, образованные группами живых организмов, а также атмосферой, почвами, природными водами. В ПТК живые и косные (по В.И. Вернадскому) компоненты экосистемы неразрывно взаимосвязаны между собой путем обмена веществами и энергией. Здесь ведущую роль играют *фотосинтез, дыхание биоты, гумусообразование и жизнедеятельность микроорганизмов*. Понятие «ландшафт» применяется к природным объектам различной сложности и размеров: необъятный океан или небольшой пруд, ландшафт темнохвойной тайги или участок вечно шелестящей осиновой рощи.

Озера. Среди них в России прежде всего отметим озеро Байкал. Это уникальный и огромный резервуар пресной и чистой воды с глубиной более 1,6 км. Находится Байкал на месте гигантского разлома земной коры среди карбонатно-кальциевых и иных осадочных пород, которые вместе с гидробионтами и обеспечивают уникальную чистоту воды. Низкие горы и сопки, прилегающие к Байкалу, покрыты лесами, которые произрастают на дерново-карбонатных и иных почвах, обогащенных ионами кальция. Последние являются хорошими осадителями органических веществ, коллоидов и анионов кислот. Заметим, что выбросы Байкальского ЦБК



Рис. 10. Одна из обширных водных экосистем в подзоне средней тайги Карелии - **Онежское озеро**, богатое рыбой и чистой водой; на фото набережная Петрозаводска на низкой озерной террасе - одна из комфортных зон отдыха Петрозаводчан (фото Яшина И.М., 2008).

незначительно загрязняли воды этого знаменитого озера лишь в южной акватории. На Европейском Севере РФ среди крупных озер выделяется Онежское (рис. 10) и Ладожское, а южнее – Белое, Лача и другие. В отличие от Байкала, озера Европейского Севера отличаются заметно меньшими запасами воды. Их гидрохимический состав характеризуется дефицитом ионов кальция и магния, но высоким содержанием водорастворимых органических веществ (ВОВ) с кислотными свойствами (Яшин И.М., 1974, 1993, 2013). Воды северных озер обогащены ионами алюминия и железа. Поэтому их использование для пищевых целей местным населением требует предварительной очистки на сорбентах.

Северные озера *Лача и Белое мелководные, зарыбленные*. Дно их обычно покрыто мощным слоем сапропеля. Это следствие многовековой эрозии почв. Из Лача, например, вытекает река Онега. Ее русло проходит в ложе из карбонатно-кальциевых пород с обилием валунов. Эти озера судоходные.

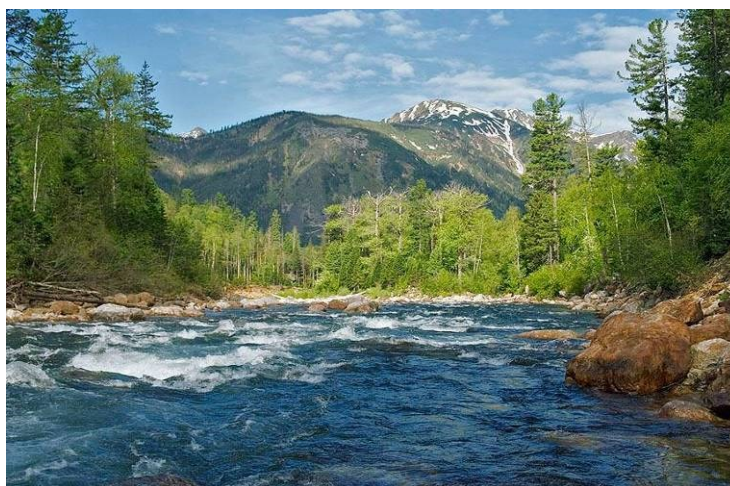


Рис. 11. Многие реки России берут начало в горах: Терек, Енисей... и разгружаются в морских бассейнах; на фото Яшина И.М. (1974) Республика Тыва.

Водохранилища. Их особенно много в Подмоскowie (Можайское, Истринское и другие) и в створе реки Волга (Куйбышевское, Саратовское, Рыбинское и др.) для работы гидроэлектростанций. Нужно отметить водохранилище на реке Енисей, которое наполняется с 1974 года (Саяно-Шушенская ГЭС) и водохранилище в районе Дивногорска, недалеко от Красноярска. Здесь расположен известный заповедник «Столбы».



Рис. 12. Весной вода многих рек на Европейском Севере РФ окрашена в бурый цвет. На снимке одна из многочисленных речушек, впадающих в р. Межа в Центрально-лесном заповеднике в Тверской области (фото Яшина И.М., 29.05. 2011).

Водохранилища выполняют две главные функции: 1-я – обеспечить работу гидроэлектростанции, а водой людей и предприятия. Это несомненно важные функции. Однако довольно долго умалчивали о негативном влиянии водохранилищ на почвы и экосистемы. Преобладал экономический подход. Сотни тысяч плодородных пойменных почв были затоплены; уничтожены и отличные кормовые угодья – сенокосы и пастбища.

В 1986 году я руководил изучением почв аграрных ландшафтов в Рыбинском районе Ярославской области. Землепользования располагались вдоль побережий реки Волги и Рыбинского водохранилища. Отмечено, к августу его воды активно «цвели» - покрыты сантиметровым слоем сине-зеленых водорослей. Это явление в экологии хорошо изучено и *именуется как процесс «эвтрофикации» воды. Причина банальная: обилие в воде доступных форм элементов питания (азота, фосфора, калия, кальция), теплая погода и слабо проточные условия в водоеме. Наряду с этим, нами было отмечено подтопление почвенного покрова. В профиле обнаружено активное оглеение. Последнее усиливает мобилизацию в раствор ионов железа, марганца, алюминия и кремния. Активизируется также мобилизация и ВОВ с кислотными свойствами. Все это обуславливает сезонный (весной и осенью) вынос продуктов почвообразования и экотоксикантов в грунтовые, а затем и речные воды, ухудшая их качество и экологическую безопасность.*

Реки. Среди рек (рис. 11) можно обнаружить водные артерии с разным типом питания: снеговое (и озерно-болотное), ледниковое (горное), комплексное. Реки Европейского Севера РФ имеют первый тип питания. Река Волга, например, вытекает из системы болото-озеро в Тверской области (южная тайга) и впадает в Каспийское море в зоне полупустыни. На пути течения в нее поступает огромное количество различных стоков, содержащих и экотоксиканты. Около плотин гидроэлектростанций и в ее дельте загрязнители частично *аккумулируются донными осадками, частично остаются в воде и поглощаются гидробионтами, а затем рачками и рыбой.*

Поэтому икра осетровых рыб в Каспии и в дельте Волги (как и сама рыба) заметно загрязнены. *Нужно учесть и продукты горения ракетного топлива в близ лежащем ракетном полигоне «Капустин Яр», разносимые ветром на сотни и тысячи километров от стартовой площадки.* Астраханский нефтеперерабатывающий завод вносит свой вклад в ухудшение экологической ситуации. В отличие от ландшафтов тайги, в зоне полупустыни и сухой степи загрязнители не удаляются из воздуха в период дождей, а очень долго находятся *во взвешенном тонкодисперсном состоянии* и опасны для биоты. Причем, попадая в организмы людей и животных (вместе с частицами солей, пыльцы, пыли и золы) они трансформируются с образованием ионов ТМ и органических лигандов, вызывая заболевания.

При *масштабном осушении болот* их гидрологические функции в ландшафтах нарушаются: осушенные торфяники начинают гореть (торфа Мещеры), создавая угрозу здоровью людей и животным столичного и других регионов (смог, диоксины, сажа, тонкая пыль). А реки быстро мелеют, теряя свои экологические и иные функции. Они превращаются в «сточные каналы». Это один из ярких примеров низкого экологического образования у руководителей разного уровня.

В *Подмосковье*, в частности, имеется много рек. Среди них наиболее загрязненной считается река Клязьма, впадающая в Москва-реку. Не так давно пойма этой реки производила картофель и овощи высокого качества (Фаустовское расширение в Виноградовском районе) и в изобилии. Однако за десятилетия загрязненные воды Москва-реки заметно загрязнили пойменные почвы, что негативно сказалось как на низком качестве овощей, так и загрязнении вод. Поэтому пойменные ландшафты Коломенского и Луховицкого районов Подмосковья утратили былую привлекательность.

В *Архангельской области* протекает река Северная Двина. На качество и гидрохимический состав ее воды существенное и негативное влияние оказывают: молевой сплав леса, сбросы сточных вод Котласского и Архангельского ЦБК и другие предприятия лесо-промышленного комплекса. И еще. Совсем недавно водозабор для города Архангельска проводился в районе островной дельты р. Сев. Двины, воды которой отличаются заметной загрязненностью и цветностью (здесь хранятся сотни тысяч тонн древесины, окорки и опилок, *неизолированные от контакта с атмосферой, почвой и поверхностными водами*). Слои опилок нередко имеют мощность 3-4 и более метров. А из них осадками постоянно выщелачиваются смоляные кислоты, терпеноиды, органические кислоты, таловое масло и иные экотоксиканты. Цвет данных продуктов ярко бурый, с высокой кислотностью и миграционной способностью. И только в 1996 г. эти речные воды стали масштабно очищать от органических и минеральных экотоксикантов благодаря работам специалистов Архангельского технического университета (в настоящее время – это Северный федеральный университет). Они создали для очистки речной воды специальную установку промышленного типа, в

которой задействовано несколько ступеней очистки, включая, биохимическую и сорбционную. Цвет речных вод северных рек обычно бурый, обусловленный *ВОВ* и фульвокислотами (рис. 11). Эти вещества поступают в речные системы из подзолистых почв и таежных ландшафтов – [Экология Северной Двины, 1998]. Поэтому наиболее полная информация о качестве и гидрохимическом составе поверхностных вод (и их загрязнении) может быть получена на основе знаний о почвенном покрове и ландшафтах, в которых протекает изучаемая река. Затем нужно учесть источники и состав загрязнителей, изучить процессы их миграции и трансформации в системе почвы – биота – поверхностные воды – люди.

2.2. Источники химического загрязнения природных вод

Источниками загрязнения поверхностных вод агрландшафтов прежде всего является *сельскохозяйственное производство*; они многообразные.

Во-первых, это различные формы и виды минеральных, а также органических удобрений и компостов; не только из-за их внесения в почвы в большом количестве, но и *из-за складирования* без защиты от атмосферных осадков и в примитивных хранилищах; причем наибольшую опасность представляют минеральные удобрения на песчаных и супесчаных почвах;

во-вторых, непреднамеренные и локальные разливы топлива – углеводородов нефти (соляры, керосина, бензина, масел и мазута) на полях и в пунктах заправки; наиболее опасными для биоты являются легкие фракции нефти;

в-третьих, это воздействие тяжелых тракторов, автомашин и сельскохозяйственной техники на почвы с образованием на глубине 23-31 см нового плотного слоя – «плужной подошвы». В ней создаются неблагоприятные условия из-за дефицита свободного O_2 , а анаэробные микроорганизмы выделяют в этом слое микотоксины, органические кислоты, антибиотики, которые негативно воздействуют на полезную почвенную микрофлору – азотобактер, целлюлозоразрушающие бактерии и др.

в-четвертых, газообразные продукты сгорания топлива при работе дизельных и иных двигателей. Они могут реагировать и соединяться с компонентами «кислотных дождей», аэрозолями, содержащими частицы сажи, пыли, золы и пыльцы растений. Последние компоненты могут сорбировать ионы тяжелых металлов (ТМ), и органические токсиканты, диоксины. И переносятся на большие расстояния. В степной и сухостепной зонах загрязнение поверхностных вод связано с *воздушным переносом солей* на большие расстояния. Их источником в РФ могут быть солончаки и пустынные почвы Прикаспия и Средней Азии.

в-пятых, это средства защиты растений (*пестициды*), которые широко используются при опрыскивании растений в агрландшафтах; они попадают сначала в почвы (поглощаются гумусом), а затем выщелачиваются осадками в грунтовые воды и реки, загрязняя их;

в-шестых, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВы) – моющие средства, используемые в быту и на фермах; *небольшая пена* на поверхности речных и озерных вод – признак присутствия здесь сбросов; в-седьмых, антибиотики и иные лекарства также широко используемые в птицеводстве и животноводстве при заболеваниях скота и птицы; часто их просто выливают в пруды и реки без утилизации;



Рис. 13. Береговая зона Белого моря **в отлив**; северная тайга (Карелия); вещества поверхностных **речных вод** обуславливают состав и свойства морских вод и наилка **в устьевой зоне северных рек**.

в-восьмых, органические продукты брожения, образующиеся при длительном хранении сенажа (в рулонах, скирдах) и силоса (в забетонированных траншеях); эти исходные органогенные субстраты не стерильные, поэтому микроорганизмы сначала биodeградируют легко доступные формы углерода – аминокислоты, углеводы, а затем и лигнин, клетчатку и гемицеллюлозу. Образующиеся бурого цвета продукты трансформации органогенных субстратов, вытекают из-под хранящихся кормов, к местным базисам эрозии – оврагам, балкам, а затем в ручьи и реки, загрязняя их. *Хранить такие субстраты лучше всего в высушенных гранулах.*

в-девятых, в сельской местности возводится очень много дачных поселков; контроля за их бытовыми сточными водами практически нет никакого, поскольку нет канализации, поэтому близлежащие водоемы, как правило, уже загрязнены не только компонентами нефти, ионами ТМ, СПАВами, но и патогенной микрофлорой; часто вместо отдыха на даче люди получают инфекционные заболевания (купаясь в загрязненных прудах), особенно, если недалеко расположен большой животноводческий комплекс, например, по производству свинины.

Наряду с очевидным и негативным воздействием сельскохозяйственного производства на поверхностные воды, существуют и иные – более мощные и масштабные источники загрязнения речных и других вод суши. Их можно сгруппировать таким образом:

- стоковые воды промышленных предприятий;
- бытовые сточные воды городов и крупных поселков городского типа;

- воды шахт, рудников и нефтепромыслов;
- растворимые в воде (или тонкодисперсные взвеси) отходы производств, образующиеся при добыче полезных ископаемых, например, при промышленной добыче алмазов недалеко от Архангельска;
- растворимые в воде отходы переработки древесины и получения бумаги (целлюлозы), которые являются очень опасными загрязнителями рек;
- сбросы водного, авиационного, космического, автомобильного и железнодорожного транспорта; сюда же следует добавить стоки, формирующиеся на военных базах и полигонах.

Рассматривать указанные источники загрязнения поверхностных вод мы не будем, но знать их наличие нужно.

2.3. Методы эколого-гидрохимического контроля поверхностных вод

Гидрохимический анализ проб воды связан с рядом специфических особенностей поведения химических элементов в водных растворах. Некоторые элементы могут образовывать ассоциаты и коллоидные системы. Другие активно взаимодействуют с органическими и минеральными лигандами, образуя различные по растворимости и устойчивости вещества.

Анализ проб поверхностных вод ручьев, рек, озер, которые в агроландшафтах нередко являются *местными базисами эрозии*, включает обнаружение газов, макро- и микроэлементов питания (нитратов, углеводов нефти, пестицидов, а также естественных водорастворимых органических веществ), патогенных микроорганизмов, степени устойчивости органических веществ – ХПК и БПК. Компоненты природных вод, как известно, образуют истинные и коллоидные растворы, тонкодисперсные суспензии. Поэтому прежде чем определять химический элемент, например в болотной воде, необходимо провести фракционирование веществ по степени их дисперсности с помощью метода фильтрации на фильтрах с разным размером пор.

Важное место отводится *отбору, консервации и транспортировке проб воды* в гидрохимическую лабораторию. Это связано с тем, что микроорганизмы активно утилизируют органические и органоминеральные соединения в воде с выделением промежуточных соединений и газов. Состав поверхностных вод изменяется и не соответствует реальному.

Напомним, что в истинных растворах (в ионно-молекулярном состоянии веществ) – размер частиц $<0,001$ мкм – находятся простые и гидратированные ионы металлов, например Cu^{2+} , Fe^{3+} , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuSO_4 , $\text{Zn}(\text{OH})^+$, а также в той или иной мере диссоциированные металлорганические комплексы типа Me-SR , Me-OOCR , Me-NH_2 и т.д.

Коллоиды имеют размер частиц $0,1 \dots 0,001$ мкм и типичны для следующих соединений: минеральных гидрозолей гидроксидов Fe, Al, Mn и Si; металлов, сорбированных в обменном слое коллоидами, а также для ионов металлов в составе высокомолекулярных органических соединений (в частности,

почвенного гумуса). Заряд коллоидных частиц гидрозолей Fe и Al – положительный, а кремнезема и гумусовых веществ – отрицательный.

Взвеси имеют размер частиц $>0,1$ мкм. Наиболее характерными их формами являются ионы металлов, поглощенные илистыми частицами, детритом. Таких частиц особенно много в поверхностных водах рек при эрозии мелкозема в степных и сухо-степных ландшафтах (Казахстане, Ростовской, Волгоградской и Астраханской областях, Ставропольском и Краснодарском краях) и иных.

Речные воды Европейского Севера, как отмечено ранее, богаты ВОВ, органоминеральными комплексными соединениями железа, алюминия, кремния и обеднены ионами кальция.

В зависимости от цели и условий анализа веществ поверхностных вод делятся на полевые (сокращенные) и лабораторные (полные).

При полевых экспедиционных анализах определяют прежде всего *тип исследуемых вод*. Для этого достаточно иметь сведения о физических свойствах воды (цвет, запах, мутность), pH и о содержании основных макрокомпонентов: CO₂ (свободный), H₂S, O₂, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺ и ВОВ (фульвокислоты с низкими молекулярными массами).

При лабораторных изысканиях используются различные схемы выделения групп и фракций веществ с последующей диагностикой целевых катионов, анионов. Одна из таких схем, разработана Г.М. Варшал и др. (1992). Авторы успешно решили задачу, связанную с дифференциацией веществ в водах по размерам частиц и последующим аналитическим определением.

Авторы, например, отмечают, что фильтрация и ультрафильтрация природных (речных, озерных), талых и дождевых вод, вытяжек из почв через ультрафильтры № 1, Сынпор № 6 или любые иные ультрафильтры с необходимым размером пор, в оптимуме 350...450 нм (фильтры Миллипор, ядерные фильтры на лавсановой основе, изготавливаемые в ОИЯИ, г. Дубна, или фильтры Nuclopor) *позволяют отделить ионно-молекулярные формы веществ от коллоидов*. Для выделения тонкодисперсных взвесей при анализе объектов окружающей среды используют также *центрифугирование, выстаивание и диализ* (Яшин И.М. с соавт., 2000). Охарактеризуем их.

Центрифугирование относится к динамическому методу отделения взвесей с использованием многокамерных и барабанных сепараторов непрерывного действия.

Диализ – единственный метод самопроизвольного отделения истинно растворенных форм химических элементов от коллоидов. Принцип метода состоит в диффузии ионов через полупроницаемую мембрану (с размером пор 0,001...0,005 мкм), т.е. проницаемую для ионов и неорганических комплексов и непроницаемую для коллоидов (неорганических, органических и иных веществ с высокими молекулярными массами). Равновесие между исследуемым раствором и деионизированной (бидистиллированной) водой

наступает примерно через 20...24 ч. Диализ, например, препарата гидрогеля гуминовых кислот (из гор. А₁ дерново-подзолистой почвы) длится почти 100 суток. Контроль – по электропроводности диализата.

Разновидностью диализа является *электродиализ*, основанный на ускорении перемещения ионов через диализную мембрану (катионообменную и анионообменную) под действием внешнего электрического поля.

Одним из перспективных методов разделения органических макромолекул ВОВ природных вод и ассоциированных с ними металлов является метод гель-хроматографии (А.Д. Фокин, А.И. Карпухин, 1977; Г.М. Варшал и др., 1977; И.М. Яшин, 1993).

Унификация методов разделения фаз важно и для аналитической химии, поскольку методы определения валового содержания элементов и их сосуществующих форм различны для истинных растворов и взвесей.

Таким образом, отмеченные методики играют важную роль в *подготовке проб* воды из разных водных источников к анализу.

Для получения информации о состоянии загрязняющих элементов (экоотоксикантов – тяжелых металлов, радионуклидов) в твердой фазе почв, пород предложена схема, включающая химический фазовый анализ селективного растворения с последующим анализом выделенной фракции методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. Предложенная авторами (Г.М. Варшал и др., 1991) схема включает последовательную десорбцию из одной пробы почвы, породы, донного осадка, содержащих тяжелые металлы (ТМ), следующими реагентами: 1%-м водным раствором HCl, 0,1 М раствором NaOH, 10%-м HCl, «царской водкой» и в завершение – смесью плавиковой и хлорной кислот (табл.2).

Необходимо подчеркнуть, что при десорбции 1%-м HCl в раствор элюируются ТМ, связанные с глинистыми минералами и органическими веществами по типу ионного обмена; при этом растворяется заметная масса веществ (окисленных форм металлов) техногенного генезиса.

Табл. 2. Данные последовательного извлечения микроэлементов из проб почв промышленных районов при обработке растворами кислот и NaOH, % от валового содержания (Г.М. Варшал и др., 1991)

Элемент	№№ пробы	Растворы, использованные для обработки проб				
		1% HCl	0,1 М NaOH	10% HCl	«Царская водка»	HF + HClO ₄
Zn	1	48,6	2,2	13,6	31,4	4,2
		50,8	2,1	9,7	32,4	5,0
	4	72,8	1,2	10,3	13,5	2,2
	4	70,2	1,1	10,4	16,4	1,9
Pb	1	57,5	Не опр.	19,2	4,1	19,2
		55,5	-«-	15,9	10,3	18,3
	4	70,3	2,5	14,2	8,2	4,8
		71,4	2,5	13,5	7,6	15,0

В щелочной элюат из почвы десорбируются органоминеральные вещества гумусовой природы и металлы, связанные с твердой фазой по типу комплексообразования. 10%-й раствор HCl элюирует в раствор ионы ТМ, сорбированные на гидроксидах и оксигидроксидах Fe, Al, Mn.

Десорбция царской водкой приводит к разрушению всех органических веществ почвы: частично глинистых минералов, гидроксидов и техногенных частиц пыли. Обработка смесью HF + HClO₄ вскрывает все обломочные минералы; в раствор переходят ТМ и элементы, входящие в их структуру.

2.4. Методы оценки водной миграции загрязнителей в почвах (перед попаданием их в поверхностные воды)

Среди методов оценки водной (внутрипочвенной) миграции загрязнителей необходимо выделить *лизиметрический и метод радиоактивных индикаторов*. Последний мы не рассматриваем, хотя он нами и был использован при диагностике трансформации и водной миграции продуктов растительных остатков (Яшин И.М., 1993).

Лизиметрический метод нами обсуждается в этой книге по двум причинам. Во-первых, сведения добываются в реальных почвах и ландшафтах. Во-вторых, анализируются механизмы миграции и трансформации ряда загрязнителей по почвенному профилю. Учитывается проскок загрязнителей из почв и пород и их проникновение в грунтовые и поверхностные воды.

2.4.1. ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД (общие положения)

Лизиметрический метод является одним из оригинальных приемов стационарного (натурного) изучения почв, агроэкосистем и оценки загрязнения природных вод. Как и любой другой вид полевых научных наблюдений, *лизиметрический метод* содержит в себе элементы не только сравнительно-аналитического познания явлений, но и приемы моделирования, т.е. характеризуется комплексным подходом к изучению почвенных процессов и режимов в природной обстановке. Приоритетные (и многолетние) лизиметрические наблюдения были организованы в *Тимирязевской академии В.Р. Вильямсом¹* и в *Московском университете Н.А. Качинским*. Они сыграли важную роль в накоплении фактической информации по различным разделам почвоведения: органическому веществу, гидрологии почв, механизмам отдельных почвенных процессов; помогли глубже осмыслить многообразные экологические функции почв и предопределили разработку новых лизиметрических установок и устройств.

Главным достоинством лизиметрического метода является *получение новых экспериментальных данных в реальной почвенно-геохимической*

¹ Данные изыскания проводились с 1904 по 1917 гг. на лизиметрической станции, находившейся на месте современного Почвенно-агрономического музея им. В.Р. Вильямса.

обстановке ландшафта, в конкретном почвенном пространстве-времени. Это обуславливает дальнейшее развитие метода в современный период, который отличается чрезвычайно интенсивным антропогенным воздействием на почвы и экосистемы Земли, вызывая их деградацию, разрушение и загрязнение.

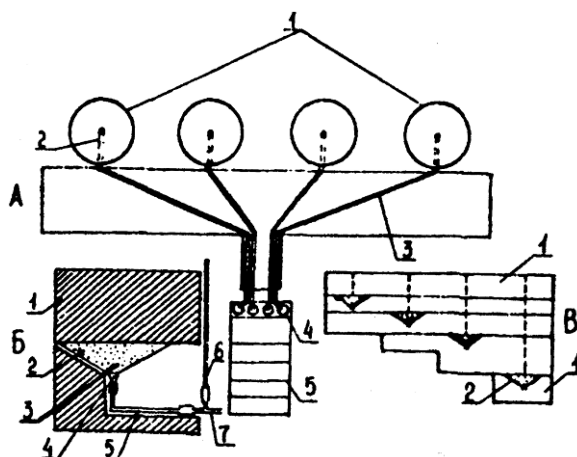


Рис. 14. Схема установок воронок Эбермайера в исследованиях Геммерлинга: А – схема расположения воронок в плане: 1 – воронки, 2 – сливная трубка, 3 – дренаж (песок); 4 – водоприемник, 5 – водоотводный шланг, 6 – контрольная трубка для проверки надежности работы водоотводного шланга, 7 – сливной кран; В – схема вертикального расположения лизиметров-воронок: 1 – почва, 2 – лизиметр-воронка.

Использование лизиметрического метода весьма актуально и эффективно при изучении механизмов ряда почвенных процессов на микро-, мезо- и макроуровнях структурной организации почв, выявлении динамики их свойств, а также диагностике направленности и эволюции элементарных почвенных ареалов в реальных экосистемах. При исследовании специфики и масштаба техногенного воздействия на почвы и их влиянии на поверхностные воды. Отмеченные проблемы взаимосвязаны, хотя и имеют свои особенности экспериментального решения. Информация по этим вопросам крайне необходима, поскольку позволяет понять своеобразие изменчивости почвы как среды обитания многих живых организмов с экологических позиций. Интересные опыты, например, провел Геммерлинг по изучению фильтрации ионов удобрений на Областной опытной станции в д. Собакино Наро-фоминского района Подмосковья в 20-х годах прошлого века (рис.2). Трудно переоценить возможности применения лизиметрического метода при мониторинге ландшафтов. Этому способствуют два благоприятных обстоятельства: *первое* - уже созданная в нашей стране сеть заповедников и иных стационаров в качестве эталонов (ненарушенных) заповедных экосистем и *второе* - наличие несложных, доступных и недорогих лизиметрических устройств (сорбционные лизиметры и тензиометры). Именно лизиметрические наблюдения в реальных экосистемах (ненарушенных, деградированных и полностью разрушенных при антропогенезе) позволяют получать наиболее объективные

опытные сведения по *основным направлениям современной трансформации веществ* в системе атмосфера-растительность-почва-гравитационная влага; более полно изучать вопросы трансформации и миграции веществ в сопряженных геохимических ландшафтах.

Опыт применения лизиметрического метода свидетельствует, что его эффективность существенно возрастает при сочетании с другими физико-химическими методами: хроматографией и радиоактивными изотопами (А.Д. Фокин, 1975; А.И. Карпухин, 1984; И.М. Яшин, 1993).

Огромный фактический материал по лизиметрическим опытам накоплен специалистами Тимирязевской академии, ныне Российский государственный аграрный университет РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, а также МГУ имени М.В. Ломоносова и другими (Лизиметрические исследования..., 1998).

2.4.2. Основные типы лизиметров, их конструкция и использование

Термин «лизиметр» – производное от греческого *lysos* (растворение). С помощью лизиметров измеряют объем природных вод, просачивающихся через тот или иной слой почвы. Корпус лизиметров может быть выполнен из специального бетона², синтетических и иных материалов (Яшин И.М., 1993). В зависимости от цели исследований лизиметрические устройства можно подразделить на стационарные (инженерные сооружения), переносные (Вельбеля), пленочные, вакуумные, сорбционные, лизиметры-испарители Попова, компенсационные испарители, балансомеры – ГГИ (Л.Л. Шишов с соавт., 1998).

Собственно лизиметр позволяет определять только фильтрацию (сток, фильтрат); испаритель – суммарное испарение с поверхности почвы и конденсацию почвенной влаги; лизиметр-испаритель – фильтрацию и суммарное испарение и испарение (расход в зону аэрации) грунтовых вод; водно-балансовая площадка – фильтрацию и склоновый сток; балансомеры (наиболее сложное в техническом отношении устройство) – практически все элементы водного баланса почвы.

Сорбционные лизиметры (хроматографические колонки по Кауричеву, 1961) применяются для изучения миграции водорастворимых веществ и некоторых металлорганических соединений (Яшин И.М., 1972, 1993, 2013). При закладке лизиметров наиболее важным в методологическом отношении являются: выбор типа и конструкции лизиметрического устройства, технология отбора почвенных монолитов и заправка ими лизиметров, размещение и оснащение их измерительной аппаратурой. Считается, что чем больше площадь лизиметра, тем представительнее будут получаемые данные. Это действительно так. Однако *большие по площади лизиметры*

² Обычные кирпич и бетон довольно быстро разрушаются в почве, а их химические элементы К, Са, Si поступают в приемники лизиметрических вод.

очень трудно заряжать монолитами. Правильная эксплуатация громоздких и объемных лизиметров становится чрезвычайно трудной. В целом выбор размеров лизиметра (площади и глубины) определяется задачами научных исследований.

В нашей стране первыми стационарными лизиметрами инженерного типа были *лизиметры В.Р. Вильямса* (1904). Подобного типа лизиметры были заложены в 1908 г. на опытном поле сельскохозяйственного института в Новой Александрии (Польша) П.Ф. Бараковым. Сотрудник сельскохозяйственной станции в Миссури Сэнборн предложил оригинальную конструкцию лизиметрического сооружения. Оно представляет собой участок площадью 40,5 м², огороженный по периметру и заглубленный в грунт водонепроницаемой стенкой. По всей площади участка на глубине 1,3 м от поверхности были заложены гончарные трубы для приема (сбора) просочившейся через слой почвы воды. По-видимому, можно считать, что это устройство послужило прообразом будущих водно-балансовых площадок.

Несколько позже по проекту Лиона была построена лизиметрическая площадка на опытной станции Корнельского университета (США). Лизиметры квадратной формы (127x127 см) были выполнены из бетона, дно воронкообразное, выводное отверстие расположено в центре дна. Лизиметры (24 шт.) были установлены в почвенную траншею в два ряда, пространство между ними и боковыми стенками траншеи заполнено почвой, вынутой при копке траншеи. Водоводы, соединенные с выводными отверстиями лизиметров, собраны в армированной траншее, расположенной на расстоянии 1,5 м от лизиметрической площадки; фильтрат поступал в протарированную емкость.

Описанные выше лизиметры, за исключением лизиметров Сэнборна, имеют много общего: прямоугольную форму, высоту, не превышающую 1 м, значительную испаряющую поверхность (не менее 1 м²), установку в армированные траншеи (галереи), сбор фильтрата в водоприемники, расположенные на некотором расстоянии от лизиметрической площади. Во всех случаях была использована насыпная почва. Некоторые агрохимические бетонные лизиметры с большой испаряющей поверхностью наших дней мало отличаются от описанных. *Самым существенным недостатком всех этих лизиметров* является то, что в них использовалась почва нарушенного сложения (насыпная).

Впервые металлические лизиметры различной конструкции были использованы Б.М. Вельбелем на Плотнянской сельскохозяйственной станции и представляли собой простые металлические ящики с размером боковых стенок около 50 см и высотой от 25 до 50 см. Ящики устанавливали в боковых нишах крытой галереи. Внутреннюю поверхность ящиков покрывали асфальтовым лаком, а на дно укладывали тонкий слой песка для дренажа. Несколько отличались лизиметры А. Ключарева. Они имели

цилиндрическую форму, испаряющую площадь около 50 см², глубину 0,2...1,0 м.

Если лизиметры Б.М. Вельбеля устанавливали в почву стационарно, и в процессе исследования не извлекали из нее, то лизиметры А.П. Ключарева (1903) можно было извлечь из почвы в любой момент для взвешивания.

Наряду со стационарными лизиметрами в почвенно-агрохимических исследованиях еще в конце XIX в. широко использовались лизиметры-воронки или просто воронки. Как правило, они выполнялись из листового железа, что позволяло врезать их в нужный слой почвы. Воронки имели различные размеры по высоте и по приемной поверхности. Впервые воронки для изучения миграции в почвах химических веществ были использованы Е. Эбермайером (Ebermayer, 1897), а в России – Вельбелем (1903). Несколько позднее с ними работал В.В. Геммерлинг (1922) на Московской областной опытной станции.

Недостатком воронок, ограничивающим их использование в современных почвенно-химических и агрохимических исследованиях, является их малая вместимость и особенно малая высота почвенного слоя, что обуславливало «зависание» капиллярной влаги в нижней части воронки. Кроме того, при значительном потоке гравитационной влаги происходит «обтекание» приемной части воронки, приводящее к большим погрешностям при балансовых расчетах.

Строительство бетонных и металлических лизиметров – мероприятие весьма трудоемкое и дорогостоящее. Стремление исследователей уменьшить затраты материальных средств и труда при сооружении лизиметров и их эксплуатации привело к созданию *пленочных лизиметров*, где в качестве гидроизоляционного материала для корпуса используется различная по химическому составу и толщине синтетическая планка (Л.Л. Шишов, 1962, 1998). Наряду с некоторыми положительными сторонами пленочных лизиметров (низкая стоимость, сравнительно невысокие затраты труда, мобильность и др.) им свойственны и недостатки. Главный из них – недолговечность пленочного корпуса. Пленка легко повреждается корнями растений, грызунами, на морозе теряет эластичность, деформируется..

Вакуумные пробоотборники

Тензиометры представляют собой один из возможных вариантов вакуумных пробоотборников (Н.А. Муромцев, 1991). В тензиометре создают некоторое разрежение (например, насосом Камовского), и почвенный раствор начинает поступать в тензиометр и далее через сливной шланг в водоприемник. С помощью тензиометров можно отбирать почвенный раствор из лизиметров и непосредственно в полевых условиях. Для этих целей рекомендованы армированные и почвенные разрезы.

На одной из стенок разреза сверлят глубокие отверстия, через которые в почву (в горизонтальной плоскости) вводят датчики тензиометров, а сам

тензиометр размещают на стенке. Другой вариант установки – непосредственно в вертикальную скважину с поверхности почвы. Интервал времени, в течение которого интенсивность потока влаги (раствора) из почвы в тензиометр резко падает, соответствует времени, необходимому для дренирования прилегающей к датчику тензиометра зоны почвы.

Использование тензиометров при изучении форм миграции веществ перспективно, так как почвенный раствор не претерпевает каких-либо изменений в качественном и количественном составе. Тензиометр можно использовать и в качестве *вакуумного пробоотборника*, что позволяет получать раствор в динамике. В установленном обычным способом тензиометре разрежение создают с помощью насоса Камовского. Значения величин определяют с учетом гранулометрического состава почвенного слоя, в котором установлен тензиометр. В качестве предварительных значений *потенциала почвенной влаги* (интервалов разрежения, создаваемых в тензиометре) можно рекомендовать следующие: -10,0...-20 кПа в песчаных, -20...-30 кПа в супесчаных, -30...-50 кПа в легко- и среднесуглинистых и -50...-70 кПа в тяжелосуглинистых почвах. Созданное в тензиометре разрежение обусловит поток влаги (раствора) *из почвы в таруемую бутылку*. После того, как объем раствора, собранного в бутылку, станет равным объему воды, содержащемуся в тензиометре, раствор следует удалить из бутылки, а для анализа использовать последующие порции.

Если в полость тензиометра ввести ионоселективные электроды, то необходимость отбора и химического анализа почвенного раствора отпадает. Преимущества такого комбинированного прибора заключаются в возможности одновременного определения параметров влагопереноса и подвижных химических элементов.

Таким образом, метод отбора почвенного раствора с использованием *вакуумных пробоотборников* в динамике является одним из перспективных, объективно отражающих состояние почвенного раствора и доступность его компонентов для растений. Однако он все еще слабо разработан в методическом и технологическом отношении, что затрудняет его широкое использование в практических целях.

Тензиометрический принцип положен в основу *конструкции вакуумных лизиметров* (Cochran et al., 1970; Crohon, 1979; Morrison, 1982), в корпусе которых в качестве конструктивной детали используют пористую пластину или кольцо. Такие лизиметры представляют собой металлические цилиндры со вставками из пористой пластины, снабженные конусом в нижней части и тубусом в верхней. Лизиметр устанавливают в почву на требуемую глубину и создают в нем разрежение. Почвенный раствор из корпуса лизиметра через трубу поступает (благодаря разности давлений в лизиметре и атмосфере) в резервуар, установленный на поверхности почвы. Отбор почвенного раствора можно осуществить и с помощью пьезометров, установленных на различной высоте лизиметра (Pittet et al., 1979).

2.2.2. Сорбционные лизиметры (лизиметрические хроматографические колонки)

Метод лизиметрических хроматографических колонок, или проще *метод сорбционных лизиметров (МСЛ)*, был разработан в 1959 г. И.С. Кауричевым и Е.М. Ноздруновой. Он используется главным образом для изучения масштаба миграции ВОВ и подвижных металлорганических соединений в почвах. В качестве сорбентов применяются оксид алюминия (Na⁺-форма), синтетические органические иониты и активированный уголь. Сорбенты располагаются в специальных колонках в виде автономных слоев мощностью 2...3 см, которые разделяются очищенным от Fe³⁺ кварцевым песком (рис. 15). 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.

Сущность метода сорбционных лизиметров:

- 1) конструктивные особенности использования сорбционных лизиметров;
- 2) сорбенты, применяемые при решении конкретных задач;
- 3) схема и методы фракционирования компонентов ВОВ или металлорганических комплексов, сорбированных тем или иным (иными) сорбентом;
- 4) идентификация индивидуальных органических веществ и загрязнителей в растворах соответствующими методами;
- 5) расчет величин масштаба миграции веществ, коэффициентов мобилизации и миграции (Яшин И.М., 1974, 1993).

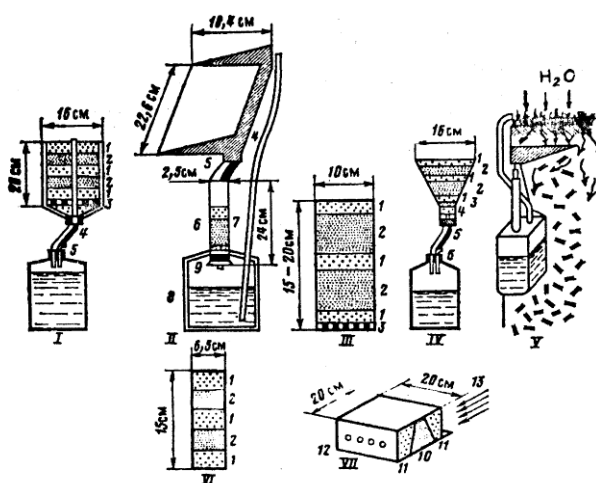


Рис. 15.

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 вещества с восходящим током почвенной влаги, VII –

плексигласовая лизиметрическая хроматографическая колонка для сорбции водорастворимых веществ при боковом внутривнутрипочвенном стоке. 1 – прослойка 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 – прослойка песка, 11 – слой сорбента, 12 – отверстия в задней стенке для выхода растворов, прошедших через слой сорбента (Al_2O_3), 13 – направление движения бокового внутривнутрипочвенного стока (Яшин И.М., 1973).

В практике полевых почвенных исследований с использованием данного метода часто применяются следующие сорбенты: **основная окись алюминия** для хроматографии и «безводная» Al_2O_3 ; **активированный уголь** (березовый высокозольный уголь — БАУ; кровяной активный уголь — «карболен»); **органические синтетические ионообменные смолы**: катиониты КУ-2 и Дауэк-50 (в H^+ и Ca^{2+} формах аниониты АВ-17, ЭДЭ-10П, в Cl^- и OH^- формах). Охарактеризуем кратко их свойства.

Оксид алюминия (Al_2O_3). Гидрофильный полярный сорбент (в зависимости от среды может быть как катионообменником, так и анионообменником). Особенностью этого сорбента является возможность необратимой сорбции им органических веществ. Органические вещества на основной окиси Al могут сорбироваться по типу молекулярной, полярной (ионообменной), гомеопольярной (необменной) сорбции.

Активированный уголь. Гидрофобный, неполярный сорбент. В отличие от оксида Al он почти не сорбирует воду, зато растворенные в ней вещества (особенно различные группы органических веществ) поглощаются им весьма активно и полно. Данный сорбент имеет следующие **положительные особенности**: высокая эффективность в отношении сорбции ВОВ, экономичность (возможность многократного использования после регенерации — в среднем 15 лет), надежность (процессы сорбции и десорбции ВОВ и других продуктов основательно изучены) и безопасность.

Ионообменные смолы. Иониты представляют собой твердые полимерные органические вещества, содержащие ионогенные (активные) группы, подвижные ионы которых способны обмениваться на ионы с зарядом того же знака, содержащиеся в почвенном растворе, с которым ионит приведен в контакт. Особенно перспективно использование ионообменных смол для сорбции компонентов ВОВ и **металлоорганических комплексов** в подзолистых почвах песчаного и супесчаного гранулометрического состава, что обусловлено высокими скоростями инфильтрации гравитационной влаги как в профиле почвы, так и в сорбционных колонках.

Эффективность опытов, выполненных с помощью метода сорбционных лизиметров, в значительной мере зависит от правильного выбора сорбента, лизиметрической хроматографической колонки, использования эффективной схемы разделения и анализа сорбированных веществ.

Применив прием концентрирования веществ в массе чистых сорбентов, размещенных послойно в колонке, удастся сохранить мобильные ВОВ и

металлорганические комплексы от интенсивной биodeградации и диагностировать их компонентный состав и формы абиогенной миграции в разных типах почв.

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. 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. Уже на начальном этапе разработки и внедрения в практику почвенных (стационарных) наблюдений МСЛ широко использовались цилиндрические и конические колонки главным образом для изучения вертикальных нисходящих потоков водорастворимых веществ (И.С. Кауричев, Е.М. Ноздрунова, 1960).



Рис. 16. Профессор **Яшин И.М.** консультирует студентов-экологов на учебной практике в ОАО учхоз «Дружба» Ярославской области перед установкой сорбционных лизиметров в профиле почвы (фото Яшина И.М., 2010)

Диагностику латерального (*бокового внутрипочвенного*) и восходящего (плёночно-капиллярного) потоков веществ изучали в подзолистых почвах (А.Д. Кашанский, 1972; Е.Д. Никитин, 1979). Методически они решены еще не в полной мере. Не исследованы также разно 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). 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. *Слой 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.



Рис. 17. Дипломница **Наумова Елена** устанавливает сорбционные лизиметры в профиле почвы на вырубке (в западине) таежного лесопарка Петрозаводска – Карелия (фото Яшина И.М., 2009).

Транспортировка колонок в таком виде возможна не только в ящиках, но и в рюкзаке, что весьма важно для их доставки на труднодоступные

стационары. Одновременно с колонками маркируют приемники лизиметрических вод, опробуют соединительные вакуумные шланги, упаковывают необходимый инвентарь – дневник, мерную ленту, этикетки, мешочки. Располагают колонки в почвенном профиле (или траншее длиной 3...4 м, шириной 0,8 м и глубиной 1,8 м) под генетическими горизонтами в 2...3-кратной повторности в виде нисходящего каскада. При такой установке верхние колонки не экранируют потоки гравитационной влаги и растворенные в ней вещества для нижних вариантов лизиметров. Сорбционные колонки помещают в заранее подготовленные ниши, которые по объему несколько больше сосудов. Потолок ниш выравнивают и зачищают строго горизонтально. Обеспечивают плотный контакт рабочей площади с потолком ниш, временно подкладывая под сорбционные сосуды 2...3 деревянных брусочка. Колонки замуровывают почвой того же генетического горизонта, увлажняя ее и проверяя их сочленение с приемником вод. Очередность установки лизиметров – снизу вверх, как и при отборе индивидуальных почвенных образцов в разрезе.

После закладки всей серии колонок (20...24 установки) траншею закапывают, маскируют, а в дневнике зарисовывают траншею, ее размеры и расположение лизиметров. Соответствующие отметки делают на детальной почвенной карте. На местности оставляют надежные ориентиры (например, зарубки на деревьях и маркеры), что особенно важно для пахотных почв стационара. В дневнике отмечают географическую и топографическую привязки разреза (профиля). Характеризуют состояние и структуру биогеоценоза. Проводят отбор проб почвы, растительности и природных вод. По истечении определенного периода полевых наблюдений (год, сезон, месяц) траншею на стационаре вскрывают и извлекают из почвы сорбционные лизиметры. Колонки очищают от почвенных частиц, протирают и упаковывают в целлофан. Измеряют объем воды в приемных сосудах, добавляя в каждую по 2...3 капли толуола. При проведении исследований в труднодоступных регионах (например, стационары в Архангельской области) для контрольных анализов оставляют 150...250 мл раствора. Траншею закапывают, а поверхность почвы покрывают растительными остатками.

В лаборатории сорбционные колонки разбирают, осторожно извлекая слои песка и сорбентов на листы бумаги. Песок направляют на регенерацию, а сорбенты после просушивания при $t \sim 35^{\circ}\text{C}$ взвешивают и упаковывают в пакеты из крафт-бумаги. Затем пакеты маркируют и группируют по горизонтам и траншеям.

Компоненты природных лизиметрических вод (коллоиды, простые и сложные ионы, молекулы веществ) накапливающиеся в приемных бутылках, со временем претерпевают трансформацию, в частности, биохимического характера с участием микроорганизмов.

Поэтому в водных растворах *приемных бутылей* наблюдается *формирование гетерогенных коллоидных систем различного состава и устойчивости* (в частности, органно-минеральных сгустков), уменьшение концентрации свободных компонентов ВОВ, изменение величины рН в сторону подщелачивания и заметное повышение концентрации угольной кислоты.



Модуль 3

Эко-геохимические риски и их влияние на поверхностные воды

Вы будете изучать:

- Эко-геохимические риски, способствующие загрязнению рек,
- Причины возникновения засух, пожаров и эрозии,
- Особенности засоления профилей черноземов и деградации гумуса,
- Негативные экологические аспекты «плужной подошвы» почв,
- Негативные экологические аспекты использования «чистых» паров.

Цели модуля:

- Охарактеризовать процессы, вызывающие загрязнение рек и озер,
- Объяснить негативную роль эрозии,
- Уточнить взаимосвязь почв и поверхностных вод,
- Рассмотреть природоохранные мероприятия по защите рек и озер.

После изучения модуля вы сможете:

- Знать эко-геохимические риски, влияющие на загрязнение рек,
- Уметь проводить оценку экологической ситуации акваэкосистем,
- Уметь провести эко-геохимическую диагностику поверхностных вод,
- Уметь прогнозировать эволюцию поверхностных вод,
- Владеть методами утилизации загрязнителей и очистки вод,
- Осуществлять природоохранную деятельность.



Основная литература

11. Экологическая экспертиза. Под ред. В.М. Питулько. М.: АCADEMIA. 2004. – 476 с.
12. Экологическая оценка и экологическая экспертиза. Ред. О.М. Черп и др. М.: Соц.-Эколог. союз. 2001. – 312 с.
13. Опекунов А.Ю. Экологическое нормирование. Уч. пособие. СПб. ВНИИОкеанологии. 2001. – 216 с.

14. Букс П.Н., Фомин С.А. Экологическая экспертиза и ОВОС. Уч. пособие. М.: МНЭПУ. Кн. 1 и 2. 1999.
15. Справочное пособие по экологической оценке. Вашингтон. Всемирный банк. В 3-х томах. 1991.

Дополнительная литература



Аннотация

В модуле 3 рассматриваются эко-геохимические риски, способствующие активному химическому загрязнению поверхностных вод суши – рек, озер, водохранилищ, прудов. Среди таких рисков можно выделить *явные и прямые* - несанкционированные сбросы промышленных вод и стоков животноводческих комплексов непосредственно в речные и озерные системы. И *скрытые* эко-геохимические риски, которые реализуются при масштабных геоэкологических процессах, вызывающих цепочку негативных реакций в почвах. Например, аридизация климата в степной и сухо-степной зонах Земли вызывает засухи, а они, в свою очередь, засоление черноземов и каштановых почв. Накопление солей приводят к развитию осолонцевания и деградации черноземов в цепи: **черноземы солонцеватые – солонцы черноземные – солонцы**. Причем, указанные процессы имеют нативную природу и сами способствуют загрязнению поверхностных вод, в частности, соединениями железа и гумусовых веществ в форме их гуматов натрия. Наряду с этим и экотоксиканты, попадающие в указанные почвы, заметно усложняют спектр загрязнителей; здесь возможно образование новых токсикантов, например, полихлорбифенилов (ПХБ). Поэтому оценка эко-геохимической ситуации загрязнения поверхностных вод тесно связана с освоением таких научных дисциплин как почвоведение, ландшафтоведение, геохимия и гидрохимия.

3.1. Аридизация климата, засухи, пожары, засоление черноземов

В последние годы отмечено заметное снижение урожайности возделываемых культур, в частности, в Поволжье - Аткарском районе Саратовской области. Это связано с возросшими экологическими рисками и снижением уровня плодородия черноземов. Еще в 1957 году профессором И.С. Кауричевым и доцентом Н.Н. Поддубным была отмечена тенденция ухудшения почвенного плодородия и дефицит влаги в почвах Среднего Поволжья. Вместе с тем экологические риски для условий лесостепной зоны РФ ими были охарактеризованы неполно, не отмечено *активное засоление и деградация черноземов*. Данные вопросы весьма актуальные и важные, особенно в связи с глобальной аридизацией климата и очаговым опустыниванием степных ландшафтов Среднего Поволжья особенно в 2009-2014 гг. Длительная засуха 2010-2014 гг. с пожарами, охватившими Европейскую часть России, способствовала также гибели многих фаций березняков, ельников, лугового разнотравья на плакорах, в распадках и лесополосах, изменению свойств черноземов после пожаров.

Аридизация обусловлена глобальным изменением климата (потеплением). Причины высказываются самые разные: это и влияние течений Эль-Ниньо и Гольфстрима, и усиление парникового эффекта, опустынивание и другие.

Засоленные породы залегают на глубине 1,7-2,7м (рис. 18А) и *оказывают существенное влияние* на процессы почвообразования, вызывая засоление и осолонцевание черноземов при усиливающейся аридизации климата и постепенном опустынивании степных ландшафтов. Об этом свидетельствуют данные Аткарской метеорологической станции: средняя годовая температура

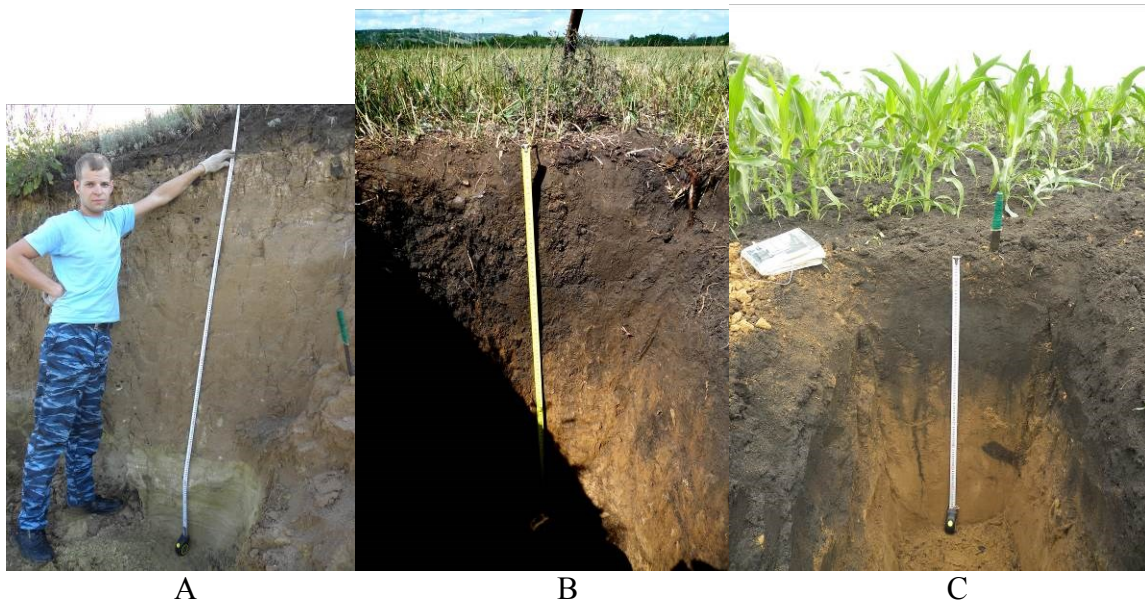


Рис. 18. Профили черноземов в разных экосистемах учхоза «Муммовское»: А – под степной растительностью (целина - степь); В – под сенокосом окультуренным и С – под кукурузой на пашне (фото Яшина И.М., 2012).

воздуха $+4,3^{\circ}\text{C}$, а количество осадков – 420 мм, атмосферная засуха сочетается с иссушением чернозёмных почв на значительную глубину при высоких температурах почвы, что сказывается на запасах влаги, продуктивности севооборотов учхоза, восходящей миграции водорастворимых солей при выпотном водном режиме летом и длительном периоде с температурой воздуха $+32\dots+37^{\circ}\text{C}$.

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 – при миграционных восходящих потоках из засоленных пород в летние жаркие месяцы: поверхность почвы, не защищенная растительностью, например, на «чистых парах» нагревается до 70°C . Движущими силами восходящих потоков ионов солей в черноземах и солонцах агроландшафтов учхоза являются градиенты температуры, концентрации и всасывающего давления почвенной влаги. Самых верхних горизонтов почв достигают только нейтральные соли – NaCl , Na_2SO_4 . Сульфаты при анаэробии в «*плужной подошве*» трансформируются с участием сульфатредуцирующих бактерий сначала в Na_2S , а затем в сульфиды железа и марганца, имеющие почти черный цвет. Поэтому и цвет горизонта «*плужной подошвы*» интенсивно черный, а срезы педов – стальной окраски, слитые по плотности. Избыток ионов кальция способствует переводу анионов фосфорной кислоты в труднодоступные трехкальциевые фосфаты; поглощение ионов калия растениями в этих условиях заметно снижается. 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 – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, KOH , NaOH , то есть в *естественный щелок* с pH 10,9-13,5. При фильтрации щелочных растворов ионы натрия замещают обменно поглощенные ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} почвы, приводят к пептизации гумусовых веществ чернозема и их



А

В

Рис. 19. 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 щелочного гидролиза ГВ чернозема ионами натрия; после 37-ми часового опыта *фильтрация прекратилась из-за коагуляции пор коллоидами*: ионы натрия вызывают гидрофилизацию коллоидов кремния, железа, алюминия (фото Яшина И.М., 2012).

выносу в форме натриевых солей в период дождей [6]. Для проверки данной рабочей гипотезы и был поставлен простой модельный опыт (рис. 4,5, А, В). В сорбционной колонке снизу – вверх последовательно располагались слои чистого кварцевого песка, слой почвы (из гор. А₁ выщелоченного чернозема), вновь слой песка и 3 мм слой золы растений. Колонку постоянно промывали небольшими порциями воды. «Пальчатая» фильтрация бурых растворов началась через 3,2 часа и продолжалась 37 часов, затем фильтрация прекратилась. Было собрано 157 мл гидрозолей гумусовых веществ (гуматов и фульватов натрия). Подкислив данный раствор 10% HCl до pH 1,5, наблюдали быстрое формирование бурых хлопьев, которые через 1,4 часа полностью выпали в осадок (это высокомолекулярные *гуминовые кислоты* - ГК), а в растворе находились фульвокислоты (ФК). Аналитически затем было 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 потребуются более значительная масса ионов натрия для обменных реакций, чтобы вызвать пептизацию гумуса и его миграцию.

Насколько глубоко могут проникать атмосферные осадки в гор. А₁ чернозема солонцеватого и попадать в сорбционный лизиметр, показали результаты другого полевого опыта на опушке дубравы (рис. 3, А). На фронтальной стенке почвенного разреза была выкопана площадка примерно 1 м² 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 м² поступит 1 л/м². При 30 мм осадков приход составит 30 литров или 3 ведра из р. Б. Колышлей.

Воду приливали по мере ее впитывания почвой. Результаты опыта показали, что в первые минуты было отмечено активное впитывание воды почвой, фильтрация практически отсутствовала: создавался фронт миграции. Затем, через 1,2 часа, по мере насыщения порового пространства и создания напора, была отмечена фильтрация до глубины 18-21 см. 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 сорбционные ли-



А **В**
Рис. 20. Модельный лабораторный опыт по изучению состава мобилизованных в раствор гуматов и фульватов натрия из гор. А₁ чернозема деградированного супесчаного после пожара: **А** – сорбционная колонка (снизу-вверх) со слоями кварцевого песка, слоя почвы, песка и слоя растительной золы, и емкость с фильтратом, состоящего из неосадившихся при pH = 1,5 фульватов Na; **В** – после длительных засух гидрогели Fe(OH)₃ в слое древнеаллювиального песка трансформировались в охристые слои оксида железа с участием солей (фото Яшина И.М., 2013).

зиметры устанавливать с мокрыми сорбентами и песком. Поскольку заземленный воздух в колонках ухудшает функционирование лизиметров.

3.2. Эко-геохимическая оценка «плужной подошвы» почв

В «плужной подошве», в частности, 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 антибиотики, органические кислоты и микотоксины, являющиеся *суперэкотоксикантами*. Микотоксины из почв легко попадают в сено при его заготовке; *плесневые грибы, особенно при плохой* просушке сенажа, могут вызвать гибель животных – лошадей, коров, овец. Поэтому правильной заготовке грубых кормов нужно уделять большое внимание. Превентивные меры связаны с экологической безопасностью почв – уничтожением «плужной подошвы» и улучшением аэрации почв. Органические кислоты (наряду с иными компонентами корневых выделений растений) обуславливают локальную трансформацию гуминовых веществ и появление *химически активных фульвокислот*, а также подвижных органоминеральных комплексных соединений Fe, Ca при сезонном переувлажнении, что и наблюдается на отдельных участках. Следует подчеркнуть, что *подкисление протекает в черноземах* при насыщенности поглощающего комплекса ионами кальция, поэтому общее подкисление почвенной массы гор А₁ не происходит: *оно пока реализуется на уровне педов*. В черноземах органические кислоты и фульвокислоты переходят в солевые формы и быстро утрачивают химическую активность после дождей. Поэтому кислотный гидролиз минералов заторможен. Изложенное позволяет заключить, *что использование тяжелой техники в агроландшафтах негативно* влияет на почвы, вызывая появление в агроэкосистемах новых экотоксикантов. Последние в период затяжных дождей могут выщелачиваться сначала в грунтовые воды, а затем и в поверхностные – озера, пруды, водохранилища и реки. Поэтому необходим мониторинг состояния почв и природных вод.

Таблица 1

Химические свойства черноземов учхоза "Муммовское" Саратовской области в 2012 г. (Яшин И.М., 2013).

№ разреза, угодье	Генет. горизонт почв	Глубина взятия образца, см	ЕС, электропровод., мСм/м	рН _{н20} (1:5)	рН _{н20} (1:2,5)	Метод Чирикова, мг/кг		Метод Мачигина, мг/кг			С _{орг} , %	Н _г	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
						Н ₂ Р О ₄ ⁻	К ⁺	Н ₂ Р О ₄ ⁻ (с окислением ГС)	Н ₂ Р О ₄ ⁻ (без окисления ГС)	К ⁺					
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Солонец черноземный глубоко столбчатый на лессовидном карбонатном суглинке															
5я целина - степь	A ₁	15-25	0,72	8,9	8,0	66	26	88	61	356	2,4	0,42	28,7	4,8	1,2
	B _{1Ca,Na}	39-49	0,89	9,2	8,7	80	0	128	13	215	0,7	0,25	44,7	6,7	5,4
	B _{2Ca,Na}	67-77	0,80	9,3	8,8	88	0	22	17	174	0,2	0,23	33,4	7,9	6,2
	B _{3Ca,sl}	83-120	0,88	9,3	8,7	88	0	28	11	192	0,3	0,23	28,8	2,5	7,4
	C _{Ca,sl}	145-155	1,00	9,4	8,8	91	0	4	1	297	0,4	0,23	35,9	4,4	9,1
	D _{sl}	210-220	0,94	9,6	9,3	50	0	22	3	185	0,1	0,23	13,2	1,8	14,5
Чернозем выщелоченный легкосуглинистый на опоках (2-я повторность)															
18я опушка дубравы	A ₁	3-11	Не опр.	5,9	5,6	47	30	232	29	143	3,9-4,1	5,61	16,3	4,9	0,7
	A ₁	14-24	Не опр.	6,3	6,1	45	0	148	26	134	3,3-4,5	3,63	21,5	5,1	0,5
	AB	37-47	Не опр.	6,7	6,4	48	1	47	19	147	1,8	2,11	23,8	3,9	0,6
	B ₁	59-69	Не опр.	7,1	6,9	43	35	15	2	236	0,5	1,60	21,5	4,2	0,9
	B ₂	85-95	Не опр.	7,4	6,5	41	11	16	8	279	0,4	1,18	37,4	5,8	0,6
	C _{ca,sl}	118-128	0,73	8,6	8,1	54	35	24	11	237	0,7	0,38	41,1	3,7	11,4
19я	Чернозем обыкновенный солонцеватый легкосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке (плакор)														
19я залежь	A ₁	5-15	Не опр.	7,2	6,9	50	0	120	5	162	3,4-4,0 4,42		32,6 5,9		0,4
	AB _{sol}	25-35	Не опр.	7,3	6,8	46	3	80	14	202	2,0	3,33	27,2	3,4	1,4

	B	38-48	Не опр.	6,8	6,4	44	2	36	2	215	0,9	2,74	31,3	5,4	2,6	
	B _{2sol}	100-110	Не опр.	6,9	6,7	47	0	22	6	86	0,2	0,91	34,7	4,3	3,2	
	B _{3sl}	134-144	Не опр.	7,5	6,6	37	0	34	6	58	0,3	0,73	23,6	3,2	3,8	
20я заужь	Чернозем обыкновенный солонцеватый легкосуглинистый (плакор); 2-я повторность р. 19я															
	A ₁	2-12	Не опр.	6,5	6,0	46	0	63	16	98	3,2-3,4	4,1	24,2	2,9	0,7	
	A ₁	18-28	Не опр.	6,9	6,5	43	0	54	18	87	2,1	1,9	20,9	3,3	0,6	
	AB	40-46	Не опр.	7,4	6,9	44	0	41	22	49	0,5	0,9	21,7	4,2	0,5	
		50-60	Не опр.	7,3	6,8	41	0	65	24	78	0,8	0,4	19,7	7,1	0,4	
	B _{ca}	60-70	Не опр.	7,2	6,5	37	4	79	25	137	1,4	2,25	39,3	8,1	0,6	
	Плакор. Солонец черноземный средне столбчатый на засоленных породах															
21я целина, степь	A ₁	3-13	0,88	8,7	8,3	62	14	57	23	130	1,1	0,32	34,7	5,5	6,9	
	B ₁	24-34	0,77	9,0	8,4	56	20	49	2	0	0,9	0,25	39,1	6,3	1,5	
	B _{2ca,Na}	46-56	0,75	9,1	8,7	61	4	16	17	91	0,4	0,23	47,2	7,1	13,4	
	BC _{Ca, Na}	69-79	0,61	9,2	7,7	59	0	13	18	89	0,4	0,52	33,2	5,4	7,3	
	BC _{Ca, Na}	93-103	0,84	9,1	8,8	64	2	24	15	97	0,3	0,23	41,2	4,3	16,7	
	C _{ca, sl}	150-160	0,71	9,0	8,4	67	332	40	7	148	0,7	0,25	44,7	8,9	21,5	
	Солонец черноземный средне столбчатый на засоленных породах; 2-я повторность р.21я															
22я целина, степь	A ₁	7-17	Не опр.	Не опр.	7,4	80	390	218	73	209	3,6-3,9	1,86	27,3	2,3	0,4	
	A ₁	37-47	Не опр.	Не опр.	6,3	80	395	169	83	191	5,3	2,25	32,7	4,4	0,6	
	A _{1Ca}	55-65	Не опр.	Не опр.	6,7	53	282	264	73	158	3,4	1,74	34,7	3,8	1,1	
	C _{Ca,sl}	210-220	0,89	9,0	8,4	174	243	27	9	139	0,4	0,28	27,8	7,9	18,5	
	Пашня (посев кукурузы) - чернозем выщелоченный легкосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке															
25я пашня - 2-я терраса	A _{пах}	0-18			6,3	246	362	362	303	326	3,5	2,74	27,6	5,1	0,1	
	A ₁	19-29	Не опр.	Не опр.	6,2	111	325	285	223	229	2,8	2,86	23,2	3,8	0,4	
	AB	40-50	Не опр.	Не опр.	7,1	84	220	191	106	132	0,8	0,81	19,5	4,5	4,3	
	B _{Ca}	85-95	0,98	8,9	8,4	79	93	7	4	114	0,6	0,26	43,4	7,9	14,9	
	BC _{Ca,sl}	110-120	1,06	8,9	8,3	33	200	4	4	169	1,1	0,28	47,2	6,3	13,2	
	Чернозем обыкновенный среднесуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке															
26я лесополоса	A ₁	1-7	Не опр.	Не опр.	7,4	143	273	347	199	282	3,0	0,91	33,1	4,2	1,1	
	A ₁	15-22	Не опр.	Не опр.	7,5	198	256	406	270	145	2,2	0,75	24,4	3,1	2,4	
	A ₁	23-33	Не опр.	Не опр.	6,9	57	138	150	47	141	3,7	2,16	23,8	2,2	2,5	
	AB	40-50	Не опр.	Не опр.	7,1	30	132	94	40	113	0,9	1,60	39,1	7,7	3,7	

Пашня (посев кукурузы) - чернозем выщелоченный легкосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке															
29я пашня - 3-я терраса	A _{пах}	0-11	Не опр.	Не опр.	6,1	54	292	300	180	231	3,7	4,14	22,1	2,6	0,4
	A ₁	20-30	Не опр.	Не опр.	7,9	96	125	310	165	190	4,2	4,52	21,9	3,0	1,6
	AB	45-55	Не опр.	Не опр.	7,0	74	214	84	64	183	2,2	2,46	20,7	2,3	2,4
	B _{Ca}	79-89	0,64	9,1	8,5	59	264	502	39	118	0,7	0,51	41,4	6,5	15,6
	BC _{Ca}	95-105	Не опр.	Не опр.	8,0	44	313	25	11	91	0,3	0,33	44,3	6,9	13,2
Чернозем выщелоченный среднесуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке															
31я мн. травы - сенокос	A ₁	8-18	Не опр.	Не опр.	5,8	54	284	104	26	94	2,4	2,80	23,1	7,3	0,4
	A ₁	29-39	Не опр.	Не опр.	6,4	47	311	54	34	100	0,6	1,98	21,8	4,4	1,8
	AB	56-66	Не опр.	Не опр.	6,9	34	335	92	20	46	0,4	1,03	22,4	4,2	3,2
	B _{Ca}	82-92	Не опр.	Не опр.	7,7	29	386	13	13	24	0,1	0,31	39,3	7,1	4,9
Чернозем выщелоченный легкосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке (июль 2013)															
36я Опытное поле	A _{пах}	0 - 9	Не опр.	Не опр.	6,6	162	163	95	34	98	2,8	2,0	20,1	4,8	Не опр.
	A ₁	15-25	Не опр.	Не опр.	7,0	93	237	78	43	117	2,3	1,6	18,7	5,8	Не опр.
	AB	48 - 58	Не опр.	Не опр.	7,8	76	103	82	35	89	1,1	0,7	19,4	3,7	Не опр.
	B _{Ca}	76 - 86	Не опр.	Не опр.	8,8	38	277	31	19	107	0,9	Не обн.	37,4	6,2	5,4
Засоленная порода с глубины 254 см (залегает глубже лессовидных карбонатных суглинков)															
5я	D _{sl}	254	Не опр.	9,3	8,9	71	83	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не обн.	5,9	2,5	14,1

3.3. Эко-геохимическая оценка «чистых паров» и загрязнение вод

Долгое время на эко-геохимические риски «чистых» паров вообще не обращали внимания. *Казалось все хорошо*: прошел год без растительности и поле, например, чернозема в лесостепи не имело диких видов растений – даже солеустойчивой полыни (их некорректно называют сорняками). Возможно, для земледельцев это было и приемлемо. Однако наши исследования показали, что длительное оставление поверхности почв (в частности, черноземов) без растений приводит к интенсивному их перегреву. Температура почвы в слое 0-4 см может достигать +70⁰ С. Это вызывает восходящий поток влаги и водорастворимых солей за счет гидротермического и концентрационного градиентов. Среди солей присутствуют прежде всего сульфаты щелочных и щелочноземельных оснований. Хлоридов заметно меньше – эти соли характерны для морских ландшафтов и имеют морской генезис.



Рис. 21. «Чистый пар» в пределах 1-й надпойменной террасы реки Большой Колышлей учхоза «Дружба» Саратовской области – источник активного засоления и эволюции черноземов обыкновенных в черноземы солонцеватые (фото Яшина И.М., 2008).

Под древесной растительностью (разрезы 18я - опушка дубравы и 26я – лесополоса посажена Тимирязевцами в 1949 года) засоление и осолонцевание черноземов пока не отмечено. На пашне наблюдается активная трансформация педов верхних генетических горизонтов (при обработке почв сельскохозяйственными орудиями) и благоприятная реакция среды – близкая к нейтральной. Хотя почвообразующая порода на этих участках имеет слабо- и средне щелочную реакции. *При дальнейшей аридизации климата и применении в севооборотах «чистых паров» вполне возможны активные*

Таблица 2

Валовое содержание тяжелых металлов и микроэлементов (мг/кг) в горизонтах черноземов учхоза «Муммовское» Саратовской области (2013)

Генетический горизонт	Глубина отбора образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Р. 15 Чернозем деградированный; полынно-типчаковая степь у карьера (рис. 6А)						
A₁	5-15	0,3	4,0	9,8	4,2	11,4
AB	29-39	0,6	2,4	4,0	2,1	0,5
E (выщел.)	39-49	0,2	3,9	20,9	8,0	12,2
B_f	49-59	0,1	5,1	15,5	5,2	9,6
Р. 36я Чернозем выщелоченный (опытное поле учхоза; подсолнечник)						
A_{пах}	0-9	0,2	12,2	25,4	15,3	25,1
A₁	15-25	0,1	10,1	23,4	14,6	22,5
AB	48-58	0,1	9,1	18,0	16,0	21,3
B_{ca}	76-86	0,2	8,9	20,8	11,1	19,5
Р. 37я Чернозем деградированный; выбитое пастбище у карьера (рис. 6 В)						
A₁	7-17	0,3	5,2	21,8	15,1	21,2
AB	36-46	0,1	5,1	16,1	9,6	14,6
B_{ca}	55-65	0,2	10,5	16,8	6,6	20,0
B_{ca}	65-75	0,1	10,9	21,0	7,9	15,3
BC_{ca}	90-100	0,1	9,6	13,8	5,6	18,9
Зола растений, использованная в опыте (pH_{n20} = 10,9)						
		0,3	19,1	74,0	16,5	15,0
Засоленная порода с глубины 254 см на 1-й надпойменной террасе						
D_{sl}	254	0,2	2,5	3,4	4,5	3,8
Слой Fe₂O₃, что на рис. 5В						
		1,9	34,7	44,2	18,7	23,8

засоление и осолонцевание верхних горизонтов пахотных черноземов РФ. Роль лесополос в регулировании водного режима аграрных экосистем Среднего Поволжья весьма значительная. В то же время чернозем обыкновенный этой экосистемы в июле при выкапывании разрезов оказался исключительно плотным, почти слитым (р.26я). На наш взгляд, это обусловлено как влиянием ионов кальция, так и ионов натрия. Черноземы под занятыми парами и сенокосами характеризуются благоприятными химическими свойствами всего профиля. По-видимому, на гумусовое состояние и биологическую активность сказываются корневые выделения злаковых трав, масштаб которых по углероду достигает порядка 57 г/м² за 1 год, причем большая часть указанной массы ВОВ биodeградирует.

Валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) и некоторых микроэлементов (Zn, Cu, Ni) в деградированных черноземах низкое (табл. 2). В золе растений отмечено более высокое содержание Pb, Zn и меньшее Ni. Подстилающие породы с глубины 254 см характеризуются очень низким валовым содержанием ТМ и микроэлементов. Однако в локальных зонах аккумуляции гидрогелей гидроксида железа (на сорбционном барьере миграции) содержание ТМ и микроэлементов заметно увеличивается: например, для Pb, с 2,5 мг/кг в слое D до 34,7 мг/кг в гидроксида железа. Не исключено, что ионы ТМ из зон их аккумуляции на гидрогелях гидроксида железа в период засух могут мигрировать с восходящими пленочно-капиллярными потоками

влаги, достигая гумусово-аккумулятивного горизонта. Отсюда ионы ТМ могут поступать в растения, загрязняя корма и продукцию растениеводства. В отличие от выщелоченного подтипа, обыкновенные чернозёмы отличаются *менее мощным профилем*, ионы Ca^{2+} активно подтягиваются при восходящей миграции в гумусовый горизонт из гор. V_{Ca} , поэтому актуальная кислотность здесь чаще всего варьирует в пределах 6,7-7,5 - от близко к нейтральной до слабо щелочной. При агрохимическом картировании черноземов на указанные генетические особенности эволюции почв обязательно следует обращать внимание, *поскольку агрохимики не учитывают восходящих потоков ионов Ca^{2+} , ионов легкорастворимых солей (Na^+ , Cl^-), коллоидов Fe*. Причем взаимодействие в деградированном черноземе (рис. 22), например, ионов *сульфата натрия с $\text{Fe}(\text{OH})_3$* приводит к формированию сульфатов Fe(III), которые после гидролиза с водой образуют очаги с сильной кислотой – H_2SO_4 и слабым основанием - $\text{Fe}(\text{OH})_3$. В этой связи может наблюдаться локальное подкисление педов чернозема (табл. 1).

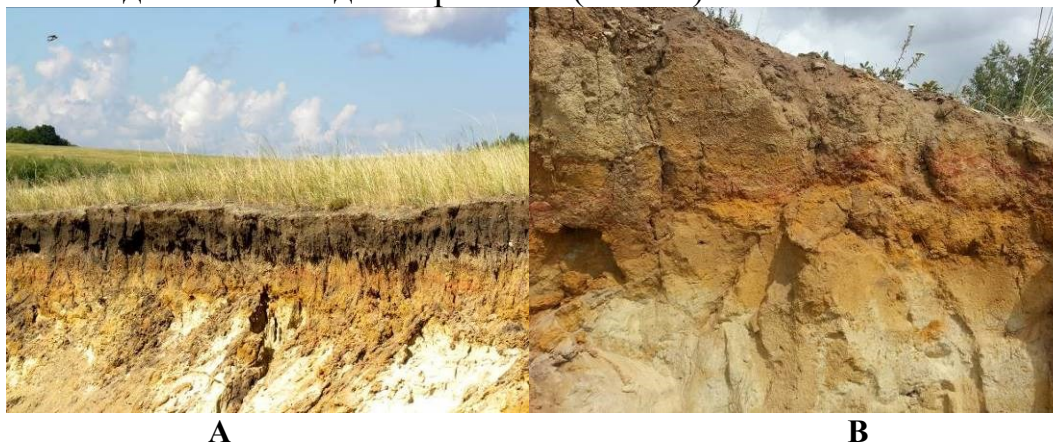


Рис. 22. **Деградация чернозема** выщелоченного, развитого на древнем аллювии, на склоне коренного берега реки Б. Колышлей у дер. Марфино: **А** – (в 2011 г.) глубже гумусового горизонта – в слое чистого кварцевого песка - заметны продукты деградации и выщелачивания гумусовых веществ в форме гуматов и фульватов натрия; после их биodeградации в осадок выпадают $\text{Fe}(\text{OH})_3$, формируя природную хроматограмму; **В** – профиль деградированного чернозема в 2013 г., что и на фото слева: мощность гор. A_1 и содержание гумуса уменьшились, а слой $\text{Fe}(\text{OH})_3$ подтянулся за 2 года еще выше

Представленная на рис. 22 природная хроматограмма продуктов деградации гумусовых веществ черноземов, позволяет более точно *понять* состав гумусовых веществ. Одним из природных комплексообразователей в молекулярных структурах гумуса являются ионы железа. Возможно, они входят в молекулы гумусовых веществ чернозема и иных почв в форме уже *готовых структур по типу железо-порфириновых колец*. Природа экономна и рачительна: что создано при фотосинтезе, то, по-видимому, сохраняется и в гумусе.



Вы будете изучать:

Модуль 4
Роль почвенного покрова в экологической безопасности поверхностных природных вод

- Влияние почвенного покрова на качество поверхностных вод,
- Процессы почвообразования и качество поверхностных вод,
- Почвенно-геохимические барьеры миграции и их функции,
- Сорбционные барьеры миграции в качестве защитного экрана,
- Миграцию веществ в почвах и проскок загрязнителей за слой почвы.

Цели модуля:

- Охарактеризовать взаимосвязь почвенного покрова и природных вод,
- Объяснить *защитную роль почв* от загрязнения поверхностных вод,
- Уточнить функционирование некоторых барьеров миграции,
- Рассмотреть природоохранную роль барьеров миграции и почв.

После изучения модуля вы сможете:

- Знать единство компонентов ландшафтов – биоты, почв, вод,
- Владеть методами диагностики экотоксикантов в природных водах,
- Уметь оценить процессы почвообразования и их влияние на воды,
- Уметь диагностировать барьеры миграции и их эволюцию,
- Владеть методами гидрологического прогноза,
- Осуществлять природоохранную деятельность в агроландшафтах.



Основная литература

1. Экологическая экспертиза. Под ред. В.М. Питулько. М.: АСADEMIA. 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

4.1. Эко-геохимическая оценка влияния почв на природные воды

Обычно о *загрязнении поверхностных вод* судят о непосредственном воздействии, например, продуктов и сточных вод сельскохозяйственного производства на водные источники – пруды, колодцы, озера. Попали разливы нефтепродуктов в реку – значит и произошло загрязнение вод. *В меньшей мере людей интересует опосредованное загрязнение вод.* Оно оказывается



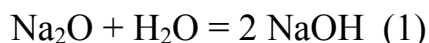
Рис. 23. А – мощный гумусово-аккумулятивный горизонт чернозема при водной эрозии уменьшился за период 1949-2009 гг. с **43-47 см до 18-23 см**; В – эрозия – это почвенно-геологический процесс, протекающий и при наличии мощного травянистого покрова (фото Яшина И.М. у д. Марфино Аткарского района Саратовской области, 2009).

происходит чаще, а загрязнители сначала попадают в почвенный покров, а затем, мигрируя в период дождей по профилям почв, достигают грунтовых, а затем и поверхностных вод – ручьев, озер и рек.

Профили почв в агроландшафтах имеют различный гранулометрический состав. Там, где распространены песчано-супесчаные профили, будет наблюдаться быстрый проскок мигрантов-загрязнителей в грунтовые воды. В суглинках миграция экотоксикантов будет менее масштабная и локализована по трещинам. Суглинистые профили почв обычно имеют хорошо развитый гумусовый горизонт А₁, который будет выполнять функции сорбционного барьера миграции в агроландшафте. На нем будут задерживаться экотоксиканты и защищать поверхностные воды. Вместе с тем нужно учесть одно обстоятельство. Когда емкость поглощения данного барьера будет исчерпана, накопившиеся в нем экотоксиканты постепенно станут выщелачиваться водой в грунтовые и речные воды. Вот почему важно иметь мощный гумусовый слой и защищать почвы от водной и ветровой эрозии (рис. 23).

В таежных агроландшафтах, по западинам и меж увалистым понижениям в рельефе, в почвенных профилях широко распространено оглеение. Глеевые горизонты являются отличными водоупорами, способствующими накоплению влаги и резко уменьшающими внутрипрофильную миграцию веществ. В то же время в глеевых и оглеенных горизонтах почв наблюдается интенсивная мобилизация ионов Fe, Mn, Al, Si. Данные элементы образуют коллоидные растворы с огромной поверхностью раздела фаз, что и обеспечивает их высокую сорбционную способность. Такие коллоиды могут поглощать и мигранты-экотоксиканты – ионы тяжелых металлов, компоненты нефти, пестициды и иные. Значит, зная функции почвенных горизонтов и барьеров миграции, можно более полно знать пути миграции и аккумуляции экотоксикантов.

Другой пример. Частично мы этот вопрос уже рассматривали ранее, и фото об экспериментах представлены, в частности, на рис. 19, 20 и 22. Казалось, что пожары уничтожают только всю биоту там, где они полыхают, и после них *кроме золы* ничего не остается? Мы поставили простой вопрос: *как компоненты золы могут влиять на почвы и грунтовые воды?* Предположили, что оксиды щелочных и щелочноземельных катионов золы в период дождей трансформируются на поверхности почвы в очень сильные щелочные растворы по реакции:



Затем наблюдается (в осенне-весенний период) водная миграция таких растворов в верхнем горизонте, например, чернозема. Происходят ионообменные реакции, при которых катионы кальция замещаются ионами натрия. *Протекает глубокий щелочной гидролиз* гумусовых соединений: полимерные структуры превращаются в мономерные – **гуматы и фульваты натрия**. Последние легко мигрируют в насыщенной влагой почве, частично осаждаясь, поэтому *горизонты A₁ у черноземов очень мощные*. Эти вещества частично достигают грунтовых вод, загрязняя их. Гуматы и фульваты мощные сорбенты для экотоксикантов – они переносят ионы ТМ, пестициды.

Кроме данного механизма реакций, нами установлен и иной (рис.22) интересный факт. При миграции *гуматы и фульваты натрия при активной аэрации в песчаном слое породы* разрушаются микроорганизмами, а ионы железа формируют гидрозолы и гидрогели Fe(OH)₃ в *форме хроматограммы охристого цвета*. Природа сама подсказывает нам механизмы и продукты деградации гумуса черноземов. Нужно быть внимательными при изучении почв и ландшафтов.

4.2. Процессы почвообразования и качество природных вод

В данном разделе рассматриваются некоторые процессы почвообразования в почвах тайги и лесостепи и их влияние *на качество поверхностных вод* при воздействии сельскохозяйственного производства.

В лесных почвах тайги наиболее активно проявляются следующие процессы:

- подстилкообразование (формирование в лесах подстилок из опада),
- мобилизация из растительных остатков ВОВ с кислотными свойствами,
- подзолообразование (под кронами ели и в меж кроновом пространстве),
- глееобразование (по западинам, где скапливается влага),
- выщелачивание веществ и ионов,
- лессиваж,
- гумусообразование ослаблено; преобладает формирование простых органических и фульвокислот с низкими величинами молекулярных масс.

В почвах агроландшафтов (пашня, сенокосы и пастбища) тайги процессы почвообразования имеют иную направленность:

- глееобразование преобладает,

- выщелачивание веществ,
- лессиваж,
- гумусообразование проявляется только при окультуривании подзолистых, болотно-подзолистых почв и подзолов. Через десятки лет формируются освоенные типы указанных выше почв. Дерновые почвы образуются только в подзоне южной тайги. Нижние горизонты пахотных подзолистых почв по свойствам мало отличаются от лесных аналогов.

Кратко охарактеризуем макро процессы почвообразования.

Подзолообразование – экосистемный процесс, который активно проявляется в зоне тайги под хвойной растительностью при промывном водном режиме на бескарбонатной морене и флювиогляциальных отложениях. *Движущие силы* – биогенный и водный миграционные потоки веществ, кислотный гидролиз минералов, выщелачивание ионов кальция и продуктов почвообразования (точнее их перераспределение в профиле подзолистой почвы), формирование подзолистого профиля (Яшин И.М., 2013).

Глееобразование реализуется в почвах, испытывающих сезонное или более устойчивое грунтовое, поверхностное или профильное переувлажнение в разных почвах. Этот процесс протекает *при непосредственном участии анаэробной микрофлоры* и компонентов ВОВ (источники их питания). Характеризуется активной мобилизацией в раствор из твердой фазы ионов металлов с переменной валентностью – железа, марганца, хрома, никеля и др. Причем образуются закисные формы этих металлов. Они затем формируют коллоидные системы, которые вызывают закупорку пор в оглеенных горизонтах и резкое ухудшение фильтрации почвенных растворов.

Выщелачивание веществ и ионов химических элементов особенно активно наблюдается в почвах тайги при промывном водном режиме. Например, если из почвы заранее не были выщелочены катионы кальция, то кислотный гидролиз минералов при участии ВОВ будет очень медленный. Такая почва еще «сопротивляется» подзолообразованию. Именно поэтому учет водной миграции ВОВ и ионов веществ (простых и сложных) с помощью метода сорбционных лизиметров позволяет в первом приближении оценить направленность эволюции почвы и экосистемы.

Выщелачивание химических элементов и органических веществ весьма характерный процесс для сельскохозяйственного производства. Так, из буртов соломы, силоса, сенажа, торфокомпостов, фосфогипса, известковых мелиорантов (CaCO_3 и $\text{Ca}_3\text{PO}_4)_2$), отходов сахарного и спиртового производства, а также из животноводческих комплексов выщелачиваются значительные массы ионов калия, азота, фосфора, кальция, стабильного изотопа стронция, тяжелых металлов и иных элементов. Они и загрязняют поверхностные воды. *Изучены эти процессы в общем виде, неполно.*

Лессиваж – это процесс перераспределения илистых частиц в профиле почвы под «защитой» компонентов ВОВ без их глубокого химического разрушения. Лессиваж широко развит в Европейских почвах. Советскими почвоведомы долго не воспринимался в качестве самостоятельного процесса.

Гумусообразование – один из запутанных и сложных процессов почвообразования. Выделяют также гумификацию – это формирование новых и обновление старых молекулярных структур гумусовых соединений компонентами ВОВ, мобилизуемых в раствор из растительного опада и лесных подстилок. *Собственно гумусообразование* включает предыдущий процесс и формирование конкретного гумусового профиля *в экосистеме*. Почва без древесной и травянистой растительности деградирует: *нет источников ВОВ*. Микроорганизмы в этом случае используют гумус почвы в качестве источника питания и энергии. *В гумусообразовании важную и стабилизирующую роль (в условиях таежной зоны) играют карбонатно-кальциевые почвообразующие породы. Наряду с этим особое место отводится процессам сорбции ВОВ на почвенной матрице. Наиболее благоприятные условия для этого имеются в суглинистых почвах.*

Почему важно знать указанные процессы почвообразования?

Во-первых, почвенные процессы обуславливают свойства почвы. *Во-вторых*, в любом типе почвы реализуется *не один, а сразу несколько* почвенных процессов, что определяется факторами почвообразования и особенностями изучаемого ландшафта, а один или несколько будут доминирующими. *В-третьих*, зная почвенные процессы, *легче диагностировать процессы взаимодействия*, например, жидких органических веществ крупного животноводческого комплекса с горизонтами почвы (в качестве удобрения), залегающей или на *плакоре*, или на склоне увала (здесь будет проявляться поверхностный и внутрипочвенный – латеральный – стоки), или в «*подошве*» склона на мощной намытой почве.

Рассмотрим фильтрацию воды в почве в полевом опыте (рис. 24)

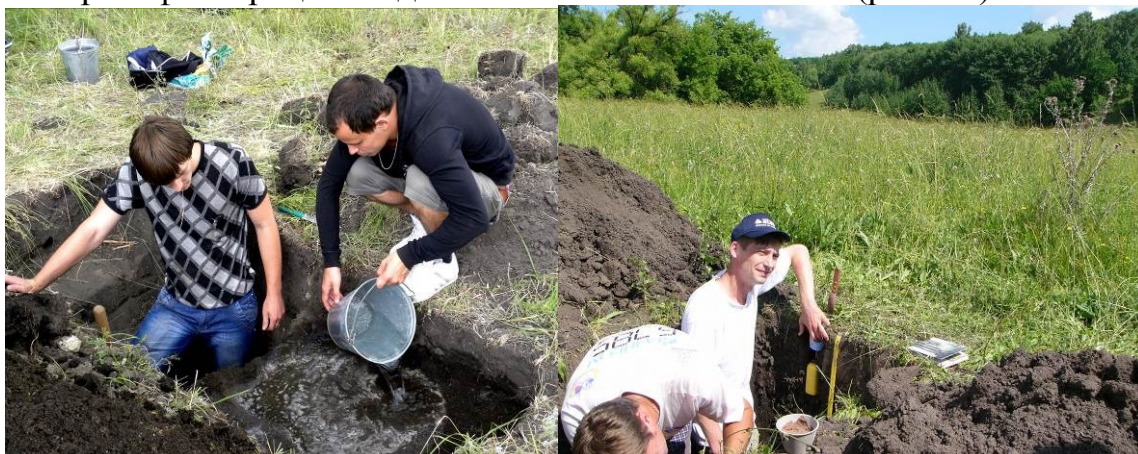


Рис. 24. **А** – дипломник Гусаим Роман изучает фильтрацию воды в черноземе солонцеватом (опушка дубравы, плакор - 2012); **В** – аспирант Петр Кузнецов устанавливает сорбционные лизиметры в профиле лугово-черноземной почвы в пойме р. Б. Колышлей, под луговым травами – 2006 – учхоз «Муммовское» Саратовской области (фото Яшина И.М.).

Насколько глубоко могут проникать атмосферные осадки в гор. А₁ чернозема солонцеватого и попадать в сорбционный лизиметр, показали результаты *полевого опыта на опушке дубравы* под травянистой растительностью (рис. 24, А). На фронтальной стенке почвенного разреза

была выкопана площадка примерно 1 м² с бортиками высотой 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 м² поступит 1 л/м². При 30 мм осадков приход составит 30 литров или 3 ведра чистой воды из реки Большой Колышлей.

Воду приливали по мере ее впитывания почвой. Результаты опыта показали, что в первые минуты было отмечено активное впитывание воды почвой, фильтрация практически отсутствовала: создавался фронт миграции. Затем, через 1,2 часа, по мере насыщения порового пространства и создания напора, была отмечена фильтрация до глубины 18-21 см. Сорбционная колонка с сухим кварцевым песком, установленная на глубине 15 см, хорошо функционировала – песок в колонке увлажнился полностью до мокрого состояния (после извлечения колонки из почвы из нее через выходные отверстия медленно сочилась вода). Данный опыт подтвердил возможность функционирования таких устройств в условиях лесостепи на легкосуглинистых черноземах с мощным травянистым покровом. Причем, именно ливневые осадки способствуют хорошей фронтальной миграции почвенных растворов (а не по трещинам), если стационарная площадка находится на плакоре и покрыта травами. Отметим, колонка в опыте была использована с сухим песком по двум причинам: 1-я априори считалось, что такой субстрат в колонке будет обтекаться почвенными растворами из-за заземленного воздуха в колонке и «не работать» и 2-я – для проверки факта поступления гравитационной влаги в такое устройство. Опыт установки таких колонок показывает: лучше использовать сорбционные колонки с мокрыми слоями песка и сорбентов.

А теперь представим, что *жидкие стоки из животноводческого комплекса* попали в пахотную почву таежной зоны, где преобладает оглеение и выщелачивание веществ. Понятно, сорбционный барьер в слабо окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве отличается малой емкостью и почти не будет задерживать органические вещества стоков. Они легко проникнут в грунтовые и речные (озерные) воды, загрязнят их. *По-видимому, похожий процесс неоднократно протекал в почвах ОАО учхоз «Дружба» Ярославской области недалеко от д. Михалево, где закладывают силосные ямы, из которых весной активно выщелачиваются продукты микробиологического брожения силосной массы (рис.25).*



Рис. 25. Профиль окультуренной дерново-слабоподзолистой среднесуглинистой почвы на покровных суглинках, *выкопанный на сенокосе* недалеко от обширного понижения на плакоре увала ОАО учхоз «Дружба» Ярославской области – д. Михалево; после зачистки профиля стали хорошо заметны *темно-серые траектории нисходящей водной миграции ВОВ* и бурых органических веществ, вытекающих из силосной траншеи; они и проникают **в грунтовые воды и пруд**, расположенный в базисе эрозии (фото Яшина И.М., 2009).

Ответим на вопрос: в чем отличие агроландшафтов от лесных экосистем и зачем применяют удобрения?

В почвах агроландшафтов тайги культурная растительность функционирует 2-3 месяца в году и на почвообразование радикально не влияет. Выращиваемые культуры *ежегодно отчуждают* из почвенного покрова большие массы макро- и микроэлементов питания. А в условиях промывного водного режима из почв еще дополнительно теряется (*уже в грунтовые и поверхностные воды*) заметная масса элементов питания. Следовательно, *в агроландшафтах тайги без внесения удобрений и известкования (регулирования почвенной кислотности) не обойтись, иначе почвы быстро утратят свое плодородие и «вернутся» по свойствам к лесным.* Без химической мелиорации почв наблюдается деградация почвенного покрова. *Здесь доминируют глееобразование, мобилизация и водная миграция веществ.* То есть вектор почвообразовательных процессов в почвах агроландшафтов *не аккумулятивный, а элювиальный.* А его нужно изменить в направлении *элювиально-аккумулятивного* почвообразования с помощью травосеяния и удобрений (и известкования). Это очень важно.

Что происходит с нефтепродуктами, которые непреднамеренно попадают в почвенный покров, и загрязняют ли они грунтовые воды?

Углеводороды нефти, локально попадая в пахотные дерново-подзолистые почвы, слабо сорбируются в верхних горизонтах. *Легкие фракции* нефтепродуктов наиболее токсичны для почвенной биоты и культурных растений (они летучие), активные почвенные мигранты. *Быстро достигают грунтовых и поверхностных вод.* Тяжелые фракции – битумы и асфальтены – в почвах осаждаются, способствуя слипанию мелкозема. Фильтрационная

способность верхних горизонтов резко снижается. Появляется риск переувлажнения и анаэробнозиса, который негативно скажется на развитии культурных растений. Тяжелые фракции *нефтепродуктов* влияют негативно на физические свойства почв, но они мало токсичны для почвенной биоты.

Какую экологическую роль играют минеральные удобрения?

Агрохимикаты (минеральные, органические удобрения и компоненты извести) по-разному трансформируются в пахотных почвах и по-разному мигрируют в почвах тайги. Наиболее активными мигрантами среди компонентов минеральных удобрений являются **нитраты**, которые часто достигают грунтовых вод, загрязняя их. Анионы **фосфорной кислоты** мигрируют в форме сложных комплексных железо-фосфатно-фульватных комплексов менее интенсивно в сравнении с нитратами (Фоки А.Д., 1975, 1986). Мигрируя в лесных почвах тайги, подобные комплексы осаждаются в иллювиальных горизонтах почв подзолистого типа, образуя слои вивианита голубого цвета. Достигая водохранилищ, прудов и небольших (хорошо прогреваемых) озер, нитраты, фосфаты, а также катионы калия и кальция обуславливают «цветение» (**эвтрофикацию**) поверхностных вод, что приводит к заметному ухудшению качества воды: дефициту кислорода, изменению кислотно-щелочного равновесия и активному развитию сине-зеленых водорослей. Использовать такую воду для пищевых целей нельзя. Вопросы водной миграции компонентов минеральных удобрений в почвах различных экосистем изучены неполно и требуют дальнейших исследований.



Рис.25. **Вода в реке Межа** Центрально-Лесного биосферного заповедника в Тверской области РФ (фоновый стационар кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) **имеет бурый цвет**, поскольку принимает активные почвенные мигранты – ВОВ, фульвокислоты и железо-органические комплексные соединения бурого цвета; в этой небольшой таежной реке с заболоченными берегами водится много рыбы (фото Яшина И.М., 20.05. 2011).

Удобрения активно мигрируют в песчано-супесчаных почвах, достигая грунтовых вод. В основном исследовано влияние удобрений на урожайность культур. Долго считалось, что удобрения оказывают только положительное влияние на почвенную биоту и гумус, не вызывают трансформацию веществ почвы и не содержат в своем составе

экотоксикантов. Однако было установлено, что и органические, и минеральные удобрения содержат ТМ и иные токсиканты. Эти вопросы требуют биогеохимического обоснования несмотря на низкое содержание ТМ.

4.3. Роль почвенно-геохимических барьеров миграции в защите поверхностных вод (прудов, родников, рек и озер) от загрязнения

Подобные изыскания проводятся редко и в основном геохимиками, поскольку именно они и *разработали концепцию «барьеры миграции»*.

Нами кратко будут рассмотрены физико-химические барьеры миграции почв, которые играют важную роль в защите поверхностных вод от загрязнителей. Среди них охарактеризуем такие: *сорбционные, карбонатно-кальциевые, испарительные, кислотные, глеевые и иные барьеры миграции*.

Сорбционные барьеры миграции. Среди них большой интерес для сельского хозяйства представляют *три вида*: органогенный (слои торфов, лесных подстилок в лесу и дернины на лугах), органоминеральный (это гумусово-аккумулятивные горизонты), минеральный (это иллювиальные суглинистые и другие горизонты), карбонатно-кальциевый (горизонты Вса, ВСса и Сса) и площадной пойменный барьер миграции, который пространственно располагается от русла реки до притеррасной поймы.



Рис. 26. Река Трубеж протекает в городе Переславле Ярославской области РФ и впадает в Плещеево озеро, некогда очень богатое рыбой (корюшкой); в последние годы по берегам реки (в ее пойме) построены дачи, коттеджи и магазины, способствующие *заметному загрязнению вод и реки, и Плещеева озера* за счет бытовых стоков, мусора и свалок (фото Яшина И.М., 2010).

Исключительно большое значение в ландшафтах *играют поймы рек*. С одной стороны, они являются *площадными барьерами миграции*, а с другой - *латеральными* барьерами: задерживают в верхних горизонтах пойменных почв при нисходящей водной миграции значительную массу токсикантов. К сожалению, только в Подмосковье (по данным специалистов МГУ имени М.В. Ломоносова) в поймах рек расположено 80% различных свалок (данные за 2003 г.). Они не только загрязняют пойменные почвы (и продукцию

растениеводства), но и поверхностные воды. Наиболее ярким примером здесь можно назвать *гидрологическую и гидрохимическую цепочку водных систем Московской области: реки Клязьма (по-видимому, самая загрязненная река) – Москва-река – Ока*. Еще недавно поймы реки Оки и Москва-реки (Фаустовское расширение, Виноградовская пойма) и Дединовская пойма Оки считались экологически безопасными. В настоящее время они загрязнены. Поверхностные воды указанных рек также заметно загрязнены отходами животноводства, тяжелыми металлами и пестицидами. Эти сведения рассмотрим в следующем разделе.

Почвы являются природными фильтрами для многих минеральных и органических загрязняющих веществ. Это замечательное свойство и создаёт главную опасность их загрязнения. Первый техногенный «удар» (наряду с растительным покровом) принимают на себя верхние, самые ценные, обогащенные органическим веществом и корнеобитаемые горизонты почв.

Часть элементов, поступающих на поверхность почв с техногенными потоками, задерживается в верхнем горизонте. Состав и количество удерживаемых элементов зависят от содержания и состава гумуса, кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности, интенсивности биологического поглощения. Другая часть проникает внутрь почвенной толщи при нисходящем токе почвенной влаги, а также механическим путём за счет перемешивающей деятельности почвенной фауны. В пределах почвенного профиля техногенный поток веществ встречает еще ряд барьеров – различные иллювиальные горизонты: иллювиально-железисто-гумусовые, иллювиальные кольматированные, карбонатные, гипсовые, солонцовые, а также глеевые горизонты. О барьерных функциях иллювиальных горизонтов дерново-подзолистых почв свидетельствует накопление в них ряда микроэлементов даже в условиях нормального геохимического фона, вне воздействия техногенных потоков.

Неотъемлемым геохимическим барьером в почвах является биогеохимический барьер. Его особенностью является не только радикальное изменение состояний и форм миграции химических элементов, но и аккумуляция ими солнечной энергии в химических связях ВОВ и гумусе (Яшин И.М., 2013).

Впервые о барьерах миграции почв писал Б.Б. Польшов. Впоследствии это научное направление было разработано А.И. Перельманом (1975) и его учеником В.А. Алексеенко (2000). В Тимирязевской академии барьеры миграции изучали специалисты научной школы И.С. Кауричева: А.Д. Фокин, А.И. Карпунин и И.М. Яшин (1965 – 2014).

Какие элементы поглощают сорбционные барьеры

? *Сорбционные барьеры* относятся к наиболее распространённым в разных типах почв и ландшафтов. Они представляют собой горизонты 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 тяжёлые металлы (ТМ) сорбируются более полно и прочно; активно загрязняют сорбционно-геохимические барьеры миграции: *органогенный (гор. O^T), органоминеральный (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*.

Кроме качественной (эколого-химической) важна и *количественная оценка барьеров миграции по следующим параметрам: градиент барьера, контрастность барьера, импульс миграции и другие*.



Количественная оценка сорбционного барьера миграции

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 миграционную 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 МСЛ — колонки с приёмниками лизиметрических вод устанавливая на «входе» и на «выходе» мигранта из барьера.

Величину G определяют по выражению:

$$G = (m_1 - m_2)/l \quad (2)$$

Напомним, что для компонентов ВОВ гор. EL (подзолистый) является химически слабо активным барьером. Если m_1 — миграционная масса ВОВ перед барьером (допустим, $50 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$), а после барьера - $63 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$. Тогда получим: $G = -13 \text{ г/м}^2 / 0,25 \text{ м} = -53 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. Знак минус **G** означает, что вместо сорбции на барьере (гор. 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 (А.Д. Фокин, 2005).

Уточним понятие градиента барьера миграции. «Изменение массы мигранта или вообще внутренних параметров миграции (t° , Р, Eh, рН, концентрации и форм химических элементов) в направлении миграции химического элемента называется градиентом барьера». Введем обозначения: m_1 – масса мигранта, например, $C_{орг}$ ВОВ на «входе» в почвенный горизонт ($50 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$); m_2 — масса ВОВ на «выходе» из почвенного горизонта ($8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$; l - мощность почвенно - геохимического барьера (0,25 м), заданная в виде горизонта A_1 дерново - подзолистой слабоокультуренной среднесуглинистой почвы.

По формуле $G = dm/dl$ или $G = (m_1 - m_2)/l$ можно рассчитать величину градиента барьера миграции: $G = (50 - 8)/0,25 \text{ м} = 168 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. При условии, что за 1 год в A_1 минерализуется 75...83% ВОВ, сорбированных компонентами почвы, здесь останется, только лишь 1/5 часть от $168 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, или **33,6 г/м³ · год⁻¹**. Эта масса ВОВ и будет участвовать в различных химических реакциях: гумусообразовании, трансформации веществ и минералов, детоксикации тяжелых металлов.

? Как рассчитать массу мигранта, которая задерживается на сорбционном барьере миграции

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

$$h = k_{\text{моб}} (C_1 - C_2) / (\alpha_1 - \alpha_2) / l \quad (3),$$

где: l — мощность барьера (м),

$k_{\text{моб}}$ — 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 рассчитать массу мигранта, а не только 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. $k_{\text{моб}} C_{орг}$ 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/м²·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:

$$h = 5 \cdot \frac{21 - 3}{(0,25 - 0,15) \cdot 0,25 \text{ м}} = 90 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1} / 0,025 \text{ м} = 3600 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1} \quad (4)$$

Расчёты показывают, что в данном случае (гор. 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 эти 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...), а также выполняют своеобразные экологические функции в ландшафтах (И.М. Яшин, 1973, 1993, 2004).

Контрастность (технофильность) барьера

Рассчитывают эту величину, используя следующее выражение:

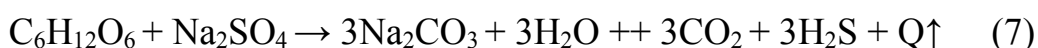
$$K_6 = C_i / C_{\text{фон}} \quad (5)$$

где C_i — реальное содержание мигранта в массе барьера (% , моль...) и $C_{\text{фон}}$ — фоновое содержание (или Кларк) изучаемого элемента (вещества), %. Например, содержание мобильных форм свинца в гор. O^{III} составило 0,11%, а Кларк Pb в коре выветривания составляет $1,6 \cdot 10^{-3}$ %. Отсюда $K_6 = 0,11/0,016 = 68,8$. Таким образом, несмотря на низкие концентрации ионов Pb^{2+} в почвенных растворах таежных ландшафтов, данный элемент *очень активно накапливается на некоторых сорбционных барьерах*. Пренебрегать низкими величинами экотоксикантов в ландшафтах и почвах нельзя. Следует организовать стационарные наблюдения за миграцией экотоксиканта.

Сероводородный (глеевый) барьер миграции образуется в восстановительной почвенно-геохимической обстановке при наличии источников серы и углерода. В глубинах Земли при $t^{\circ} \geq 150^{\circ}\text{C}$ в породах и газах, содержащих CH_4 и сульфаты, возможно образованные H_2S по схеме:

$$\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{S} \quad (6)$$

Однако гораздо большее значение в образовании H_2S имеет деятельность сульфатредуцирующих бактерий:




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: Сев. Двины, Мезени, Кулоя, Печоры, Енисей, 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. А₀ и временно прокрашивающие минеральный субстрат под лесной подстилкой в темно-серый цвет. Такие горизонты порой ошибочно принимают за гор. А₁, а почву (в пределах подзон средней и северной тайги на бескарбонатных породах) также некорректно диагностируют или как дерново-глеевую, или дерново-подзолистую глеевую.

Какую окраску имеют глеевые горизонты

 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, где подобные воды на слабо выраженной озёрной террасе выходят у «подошвы» сельг на поверхность) отмечается интенсивное окисление Fe²⁺, образование бурых коллоидных систем Fe(OH)₃ и их выпадение в осадок. Через 12 часов стояния такая грунтовая вода буквально «насыщается» бурыми мелкими хлопьями гидрозоля гидроксида Fe, являющегося весьма ёмким сорбентом для многих анионов (фульвокислот, PO₄³⁻), 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 отмечается сегрегация соединений железа, марганца и фульвокислот в конкреции, примазки.

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), наблюдается осаждение соединений Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Cd и многих других ионов металлов, а также компонентов ВОВ. Привнос частиц почвенного мелкозёма при эрозии способствует формированию в озере мощных слоев сапропеля; поскольку он обогащён Са и ГС, его нужно использовать как удобрение, одновременно очищая и озеро.

 Кислотный 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 ионы кремния, молибдена и урана.

Испарительный барьер миграции часто функционирует с солевым и возникает при интенсивном *зимнем и летнем испарении* почвенных растворов, в частности, в степных, сухостепных и пустынных ландшафтах.

Подобные барьеры способствуют *вторичному засолению почв*, при близком залегании высокоминерализованных 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 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 Fe³⁺ с последующим образованием коллоидных частиц Fe(OH)₃↓. Последние представляют собой прекрасные сорбенты как для ВОВ, так и многих металлов, поэтому вода хорошо очищается. При осаждении гидрогелей гидроксидов Fe(OH)₃ увлекаются в осадок также растворимые формы Cu, Pb, Cd, а сам гидроксид железа превращается в гетит. Здесь важную роль играют и *сульфатредуцирующие бактерии*, деятельность которых можно диагностировать как *биогеохимический микробарьер*.

Комплексные барьеры геохимии иначе называют *совмещенными*; здесь одновременно функционируют несколько их видов на одном участке или в одном горизонте почвы: биосорбционный, кислородно - термодинамический, глеевый (сульфидный), органогенно-глеевый (сульфидной) как, например, в маршевых почвах дельты р. Сев. Двины и морских побережий.

Геохимические барьеры закономерно сменяют друг друга в ландшафтах, образуя своеобразную *мозаику геохимических полей* химических элементов. Барьеры могут быть как площадными, так и латеральными. Знание пространственной организации парагенетических ассоциаций элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ) помогает эффективно решать задачи поиска и оценку биогеохимических провинций и *аккумуляций экотоксикантов и полезных ископаемых*.

Часто особенности геохимических барьеров объясняются на качественном химическом уровне. Количественная оценка барьера миграции - более сложная задача. Ранее мы использовали показатель градиент барьера миграции, а сейчас рассмотрим импульс и интенсивность миграции*

* Все движущие силы миграции А.Е. Ферсман (1937) условно разделил на внутренние факторы, связанные с химическими свойствами элемента, и внешние, обуславливающие ландшафтную обстановку миграции. В дальнейшем более полное обоснование этим терминам дали А.И. Перельман (1975), М.А. Глазовская (1997), И.С. Кауричев и И.М. Яшин (1989) и другие авторы.

конкретного химического элемента (А.И. Перельман, 1975). Уточним эти понятия. «Изменение массы мигранта или вообще внутренних параметров миграции (t° , Р, Eh, рН, концентрации и форм химических элементов) в направлении миграции химического элемента называется градиентом барьера». Введем обозначения: m_1 – масса мигранта, например, $C_{\text{орг}}$ ВОВ на «входе» в почвенный горизонт ($50 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$); m_2 — масса ВОВ на «выходе» из почвенного горизонта ($8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$; l – мощность почвенно - геохимического барьера (0,25 м), заданная в виде горизонта A_1 дерново - подзолистой слабоокультуренной среднесуглинистой почвы.

По формуле $G = dm/dl$ или $G = (m_1 - m_2)/l$ можно рассчитать величину градиента барьера миграции: $G = (50 - 8)/0,25 \text{ м} = 168 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. При условии, что за 1 год в A_1 минерализуется 75...83% ВОВ, сорбированных компонентами почвы, здесь останется, только лишь 1/5 часть от $168 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$, или $33,6 \text{ г/м}^3 \cdot \text{год}^{-1}$. Эта масса ВОВ и будет участвовать в различных химических реакциях: гумусообразовании, трансформации веществ и минералов, детоксикации тяжелых металлов...

Пример участия сорбированной массы ВОВ в обновлении гумусовых соединений прежде всего мобильной группы – фульвокислот гор. A_1 . Для этого необходимо последовательно провести ряд расчетов:

1) определить массу почвы (гор. A_1) при заданных расчетной площади $S = 1 \text{ м}^2$, плотности почвенного горизонта $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$ и мощности слоя $l = 0,25 \text{ м}$. Тогда объем почвы на расчетной площади 1 м^2 составит $25 \cdot 10^4 \text{ см}^3$, а масса 312,5 кг;

2) в отмеченной массе почвы следует найти **массу углерода фульвокислот**, которая и будет обновляться миграционными компонентами ВОВ. Известно, что содержание органического углерода ГС в твердой фазе почвы составляет ориентировочно 1,2% (или 1.2 грамма на 100г), а на долю группы фульвокислот (согласно фракционно - групповому составу гумуса) приходится 70%, или в массовых долях – 0,84%, т.е. 840 мг/100 почвы, и на всю массу почвы — 2625 г $C_{\text{орг}}$ ФК;

3) следует рассчитать коэффициент обновления $k_{\text{обн}}$ на $1 \text{ м}^2 = m_{\text{ВОВ}}/m_{\text{ФК}} = 33 \text{ г/м}^2/2625 \text{ г/м}^2 = 0,0128$, или 1,28%. Таким образом, за 1 год обновляется 1,28% массы «С» ФК, а полное время обновления структур ФК (при указанном масштабе миграции ВОВ) составит **78 лет**. Гуминовые кислоты, как более инертные и конденсированные природные полимеры, будут обновляться еще более медленно; они выполняют функции сорбентов.

Сравнивая коэффициенты обновления $k_{\text{обн}}$ и минерализации фульвокислот $k_{\text{мин}}$, можно понять, в каком направлении в данный период идет эволюция структур ГС конкретного типа почв.

Если принять, что полная минерализация ФК происходит в почвах тайги за 350 лет, то за единицу времени (год) минерализуется 0,29%, или 0,29 г массы ФК на 100 г почвы (2,9 г ФК на 1 кг).

Следовательно, в нашем примере $k_{\text{обн}} > k_{\text{мин}}$ и процесс гумусообразования доминирует над утилизацией ГС. Если резко уменьшить источник ВОВ (растительный опад), то ФК быстро минерализуются, а в почве останется в

основном инертный гумус, как, например, в погребенных почвах. Это наблюдается при аридизации ландшафтов и почв зоны степей, в частности, в современный период. Если вместо нативных ВОВ принять во внимание органические вещества антропогенеза (сельскохозяйственного производства), не характерные для экосистемы, то можно в перспективе ожидать изменение структуры, состава и функций гумусовых веществ, что *негативно скажется и на генах растений, животных и людей*. По-видимому, эти процессы уже протекают, но они мало кого интересуют из-за корпоративности и «грантовости» научных изысканий. Решать же нужно важнейшие вопросы эко-геохимии, чему способствует свобода мышления.

Другим важным показателем активности миграции химических элементов является ее **интенсивность**, т.е. количество атомов (ионов, молекул), мигрирующее за реальный отрезок времени через заданную площадь сечения или объем:

$$P_x = db/dt \text{ или } P_x = (b_2 - b_1)/(t_2 - t_1). \quad (8)$$

Однако без учета содержания в почве общей (валовой) массы мигранта (в форме оксида) параметр P_x отражает не интенсивность миграции, а скорость процесса мобилизации в растворимое состояние конкретного химического элемента. Величину db/dt следует разделить на исходную массу элемента в форме оксида, или кларк, %. Тогда получим (по А.И. Перельману, 1975):

$$P_x = \frac{1}{b_x} \cdot \frac{db}{dt} \quad (9)$$

Если принять соотношение db/dbx за U (импульс миграции), найдем

$$P_x = U/dt. \quad (10)$$

Выражение db/dbx – это приращение небольшой мобильной массы мигранта к валовой на расчетной площади в 1 м^2 (в принципе, это соотношение масс мигранта в жидкой и твердой фазах). По смыслу оно подобно $k_{\text{моб}}$.

Из выражения $P_x = U/dt$ можно найти значение импульса миграции $dU = P_x \cdot dt$. Импульс миграции – это плотность потока мигранта за конкретный промежуток стационарного опыта через заданную (расчетную) площадь (1 м^2) почвы.

Поскольку $dU = db/dbx \cdot dt$, то взяв определенный интеграл, получим:

$$dU = \int_{b_1}^{b_2} \frac{db}{dbx_0} \int_0^t dt = U = \ln \frac{b_2}{b_1} \cdot t^{-1} \quad (11)$$

После преобразования найдем вид функции. Это восходящая экспонента:

$$b_2 = b_1 \cdot \exp(U) = b_1 \cdot \exp[P_x(t_2 - t_1)]. \quad (12)$$

Пример. В результате техногенного загрязнения агроэкосистемы Подмосквья с дерново - подзолистыми почвами в гор. $A_{\text{пах}}$ 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:

$$U = \ln b_2/b_1 = \ln 2 - \ln 4,5 \cdot 10^{-3} = 0,693 - (- 5,404) = 6,1. \quad (13)$$

Таким образом, импульс миграции ионов Cu^{2+} в гор. $A_{\text{пах}}$ довольно значительный, и вероятность включения мобильных соединений меди в биогенный поток - высокая.

Рассмотрим *методы решения типовых эколого-математических задач* и теоретическое обоснование приемов их решения с помощью метода сорбционных лизиметров.

Методика оценки параметров водной миграции водорастворимых органических веществ в почве

Расчет величины масштаба миграции ВОВ в почве. *Причем такими веществами вполне могут быть аналоги, находящиеся в стоках животноводческих комплексов.*

При расчете величины масштаба миграции водорастворимых химических соединений из генетических горизонтов почвы целесообразно использовать единую размерность — массу вещества (мг, г, кг).

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

Пример. В 0,1 н. NaOH элюате ($V = 250$ мл) из 50 г Al_2O_3 установлена концентрация углерода ВОВ, равная 125,0 мг/л. Следовательно, масса (m) мигранта, перешедшая в щелочной раствор, будет равна:

$$C \cdot V = 125 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1} \cdot 0,25 \text{ л} = 31,25 \text{ мг} \quad (14),$$

а на всю навеску сорбента в сорбционной колонке она составит 62,5 мг. Исходя из соотношения **рабочей** площади лизиметра ($66,4 \text{ см}^2$) и **расчетной** поверхности почвы (1 м^2), находят искомую величину массы мигранта для щелочного элюата. Затем используют водный раствор 0,1-1,0 н. H_2SO_4 , который пропускают через сорбент после его промывки порцией воды (200-300 мл). Диагностированную массу углерода ВОВ суммируют с предыдущей.

Поскольку часть компонентов ВОВ сорбируется Al_2O_3 (по типу химической сорбции) **необратимо**, следует определять углерод ВОВ также непосредственно в сорбенте по методу Тюрина в модификации Симакова (соблюдая меры предосторожности при нагревании хромовой смеси).

Искомая величина общего органического углерода в Al_2O_3 выражается массовыми долями процента (%).

Пример. Допустим, в **верхнем слое** Al_2O_3 (общей массой 125 г) содержание $C_{орг}$ равно 0,35% (т.е. 350 мг углерода на 100 г поглотителя, а на всю навеску в колонке — 437,5 мг). В **нижнем слое** Al_2O_3 содержание $C_{орг}$ равно 0,17% (общая масса Al_2O_3 — 109 г), или 185,3 мг $C_{орг}$ ВОВ на всю навеску.

По первому слою вынос углерода ВОВ составит 65,9 г/м², а по второму (нижнему) — 27,9 г/м²·год⁻¹. **Общий вынос — 93,8 г/м².** Полученную величину целесообразно сравнить с расчетами по кислотно-щелочным элюатам и сделать вывод о природе миграционных групп ВОВ. Отдельно рассчитывают массу ВОВ в приемниках вод.

В принципе ориентировочный вынос мигранта, например, ВОВ из гор. А₀ подзолистой почвы при использовании метода сорбционных лизиметров можно прогнозировать, исходя из соотношения следующих реальных (выявленных в натурном опыте) величин:

$$m = \frac{Q \cdot C_0}{S \cdot t} = \frac{2,7 \text{ л} \cdot 0,250 \text{ г/л}}{6,64 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \text{ год}} = 101,7 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}, \quad (15),$$

где m — масса углерода ВОВ, поступившего из лесной подстилки в зону действия лизиметрической установки (г/м²·год⁻¹) в условиях Няндомского стационара Архангельской области;

Q — объем воды, профильтровавшейся через сорбционную колонку (с активированным углем и Al_2O_3) и поступивший в приемник — 2,7 л;

C_0 — концентрация углерода ВОВ в исходном почвенном растворе (0,250 г/л);

S — площадь сечения потока гравитационной воды, заданная в виде площади сечения сорбционного лизиметра (в опыте 66,4 см²);

t — время функционирования лизиметров (1 год).

Исходя из выше указанного выражения, одним из приемов повышения эффективности действия сорбционных колонок является как увеличение продолжительности их функционирования, так и площади сечения лизиметров, а также использование емких, с обратимым характером сорбции, поглотителей.

В большинстве случаев реальные величины вертикальных миграционных потоков ВОВ в почвах таежной зоны обычно в несколько раз меньше. Это обусловлено, на наш взгляд, не только использованием в сорбционных лизиметрах некоторыми авторами только одного типа сорбента, например Al_2O_3 , но и вследствие глубокой **минерализации компонентов ВОВ** в

■ **Вынос рассчитывают из следующего соотношения:**

$$x = \frac{437,5 \text{ мг} - 66,4 \text{ см}^2 \text{ (рабочая площадь лизиметра)}}{10^4 \text{ см}^2 \text{ (расчетная площадь поверхности почвы)}} \text{ отсюда} \\ x = 65,9 \text{ г/м}^2.$$

сорбентах, поскольку последние активно сорбируют разные группы почвенных микроорганизмов.

Объем фильтрующейся (гравитационной) влаги, поступившей в зону функционирования лизиметра, *можно ориентировочно оценить, исходя из водного баланса почвы.*

Средние величины **3-х летних** годовых осадков (579 мм) показали, что 24% их массы, фильтруется в профиле подзолистой почвы, т.е. 139 мм. Известно, что масса воды 1 мм жидких осадков на 1 га составляет 10 т. Отсюда масса воды, просочившаяся через 1 м², будет равна 0,139 т/м², или 139 кг/м². На основе соотношения площадей сорбционного лизиметра и поверхности почвы (1 м²) найдем искомую величину фильтрата:

$$\begin{aligned} 139 \text{ кг (л)} &— 1 \text{ м}^2; \\ x &— 407 \text{ см}^2; \quad x = 5,7 \text{ л} \end{aligned} \quad (16)$$

При рабочей площади лизиметра 66,4 см² эта величина будет равна примерно 1 л за 1 год.

Мобилизующиеся в растворимое состояние из опада и лесных подстилок ВОВ, претерпевают различные превращения, участвуя, в частности, в миграции различных соединений с потоком гравитационной влаги по профилю почв и в ландшафтах. *При абиогенной миграции в почвах* наряду с сорбционно-десорбционными взаимодействиями и фракционированием сложной смеси веществ наблюдаются коагуляция коллоидных систем, механический перенос тонкодисперсных частиц под «защитой» ВОВ, а также переход химических элементов из одних состояний и форм в другие. Например, **углерод, фосфор и азот** могут находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии; железо и марганец легко меняют валентность, в частности при оглеении, и переходят из ионно-молекулярного в коллоидное состояние, активно образуют устойчивые водорастворимые органо-минеральные соединения. Поэтому одни сорбционные параметры не всегда позволяют дать достаточно обоснованный прогноз, в частности, линейной скорости миграции тех или иных химических соединений по генетическим горизонтам и профилю почв подзолистого типа.

В реальном почвенно-географическом пространстве существуют различные масштабы времени, отражающие не только неоднозначные по направленности и скорости процессы мобилизации вещества, но и их последующие трансформацию и массоперенос в сопряженных геохимических ландшафтах.

На формальном математическом языке рассматриваемые определения можно задать с помощью миграционной функции, обуславливающей характер перераспределения новообразованной массы (M), например ВОВ, в конкретном почвенном пространстве: S — генетическом горизонте, почвенном профиле, элементарном почвенном ареале (ЭПА) — в виде массы мигранта g за время t, в форме дифференциального уравнения (10):

$$\frac{dM}{dS} = g(x, y, z, t) \quad (17).$$

При этом для ЭПА целесообразно выделить время t_1 и **масштаб мобилизации** абсолютной (возможной) массы ВОВ в заданной точке пространства, а также время t_2 и *масштаб миграции* данных продуктов с учетом специфики взаимодействия с минеральными и гумусовыми соединениями согласно изотерме сорбции и кинетике сорбционного процесса. *Миграционная функция* вследствие неоднородного сложения профилей почв и пестроты почвенного покрова в пределах ЭПА, экосистемы будет иметь разрывы в изучаемой области, а в некоторых точках вообще может быть неопределенна. Вектор скорости миграции \vec{V} массы мигранта ВОВ в почвах таежной зоны заметно дифференцирован и зависит также от структуры, типа экосистем и географических условий почвообразования. Данные параметры в принципе трудно поддаются математической формулировке. Поэтому весьма важно накапливать фактическую информацию о путях миграции ВОВ и проводить анализ составляющих уравнения (17) для нахождения *полной производной перераспределения мигранта g в конкретном пространстве ЭПА и оценки «поля миграции» ВОВ. Именно эти значения и нужно знать при оценке водной миграции органических веществ, образующихся в период хранения отходов сельскохозяйственного производства – различного рода компостов, силоса, навоза, птичьего помета. Как бы хорошо не было организовано подобное хранение, все равно оно будет сопровождаться активным брожением и трансформацией органических веществ в направлении формирования мобильных ВОВ с кислотными свойствами. Данные вещества – активные водные мигранты и легко достигают водных источников – колодцев, родников, прудов и водохранилищ загрязняя их. В этой связи вокруг подобных хранилищ органогенных субстратов в аграрных ландшафтах следует создавать площадные и латеральные барьеры миграции из мелкого щебня $CaCO_3$ и глина мощностью каждого слоя не менее 50 см.*

Вопросы для самоконтроля.



Модуль 5

Эко-геохимическое нормирование загрязнения природных вод и управление водными ресурсами

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.: АСADEMIA. 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. ВНИИ Океанологии. 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. 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.
2. Перечень основных законодательных и нормативно-методических документов, регламентирующих порядок разработки оценки воздействия при обосновании инвестиций в строительство (реконструкцию) объектов различного назначения. М: ГП "ЦЕНТРИНВЕСТ проект", 1998.
3. Н.Д. Сорокин. Справочник нормативно-правовых актов по вопросам охраны окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. СПб, Интеграл, 2005, 320 с.
4. Яшин И. М. Роль глеевых барьеров в ландшафтно-геохимической миграции веществ // В сб. Гидроморфные почвы — генезис, мелиорация и использование. Тезисы докл. Всерос. научно-практ. конференции. МГУ: 8–12 июля 2002 г. М.: МГУ, 2002, с. 42.

5. Яшин И. М., Раскатов В. А., Шишов Л. Л. Прогноз поведения химических элементов в ландшафтах тайги при глобальном потеплении климата. // В кн. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М.: МСХА, 2003, 316 с.

6. Карпунин А. И., Яшин И. М., Черников В. А. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов в ландшафтах европейского Севера // Изв. ТСХА.



Аннотация

В модуле 5 рассматривается эко-геохимическое нормирование загрязнения природных (поверхностных) вод и управление водными ресурсами. *Особенно интенсивное выщелачивание органических веществ* и различных химических элементов из отходов сельскохозяйственного производства, органогенных компостов, сапропелей, силосных и сенажных ям и иных объектов **наблюдается весной** – в половодье (рис. 27А). На примере лесных ландшафтов Центрально-лесного биосферного заповедника (недалеко от г. Нелидово) Тверской области хорошо видно, как талые воды покрывают огромные пространства, перенося по поверхности почв мусор, частицы почвенного мелкозема, внесенные органические и минеральные удобрения (по снегу), растворенные вещества и взвеси в базисы эрозии – речные системы, вызывая интенсивное их загрязнение. Кроме весеннего таяния снега и разлива рек (*с оседанием мигрантов в поймах*) выделяется еще один пик, связанный с осенним периодом загрязнения вод - затяжными дождями. В отличие от весеннего сезона, осенью **загрязнители** активно *мигрируют в почве* с участием ВОВ, фракционируются по молекулярным массам и способности к сорбции на барьерах миграции, и достигают грунтовых и речных вод в ионно-молекулярной форме.

В этом модуле 5 также будут охарактеризованы методология управления водными ресурсами ландшафтов и эко-геохимическая оценка загрязнителей, поступающих из агроландшафтов в поверхностные воды. Внимание будет уделено методам диагностики органических веществ (загрязнителей вод) и некоторым ТМ. С этого мы и начнем.

5.1. Методы исследования состава органических веществ и диагностики токсикантов в поверхностных водах

Общее содержание $S_{орг}$ ВОВ в природных водах *определяют по величине окисляемости* перманганатным методом Кубеля-Тиманна и бихроматным методом Тюрина. Величины перманганатной и бихроматной окисляемости не соответствуют полному содержанию углерода водорастворимых органических веществ, например, выщелачиваемых атмосферными осадками их торфо-навозных компостов. Перманганатная окисляемость составляет **примерно 50%**, а бихроматная — **75...95%** от общего содержания $S_{орг}$ в воде. *Причем аликвоты воды (25-50 мл) при выполнении анализов нужно предварительно выпаривать досуха на специальной «бане».*

Методам выделения и исследования гумусовых веществ почвенных растворов и лизиметрических вод посвящены работы К.В. Дьяконовой (1972, 1977). Этот автор рекомендует после получения на стационаре лизиметрического раствора как можно быстрее проводить фильтрацию раствора и определение $S_{орг}$ по фракциям бихроматным методом. Метод электрофореза на бумаге позволил К.В. Дьяконовой определить содержание неспецифических и специфических органических соединений. В работе

этого автора использован также метод ИК-спектроскопии для изучения структуры органических веществ лизиметрических вод. Для определения элементного состава выделенных гумусовых веществ из вод рекомендуется использовать термоэлектрокондуктометрические *СНН-анализаторы*.

Комплексные исследования состава и свойств ВОВ поверхностных и лизиметрических вод почв подзон южной, средней и северной тайги ЕТС выполнены И.М. Яшиным (1974-1993, 1996, 2010, 2013). В работах данного 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 аналитическая схема W. Forsyth (1947) на активированном низкозольном (животном) угле «карболен», которая была усовершенствована И.М. Яшиным в 1973 г. ВОВ кислотной природы природных вод исследовали также И.С. Кауричев, 1965; А.Д. Фокин с соавт., 1973; М.В. Новицкий, 1968, 1973; Г.М. Варшал, 1973 и другие.

М.В. Новицкий, например, изучал состав низкомолекулярных ВОВ в лизиметрических водах дерново-подзолистых почв. Для определения низкомолекулярных органических кислот и их солей использованы различные варианты хроматографического метода, метод потенциометрического титрования и «показатель буферности», согласно которому кислые продукты, оттитровывающиеся до рН 6,5, можно отнести к низкомолекулярным органическим кислотам, а соединения, оттитровывающиеся при рН 6,5...10,0, соединениям типа таннидов (полифенолы и продукты их гидролиза).

Исследованию ВОВ и их роли в образовании комплексных соединений с металлами посвящена работа И.С. Кауричева и Е.М. Ноздруновой (1960). Установлено, в частности, с помощью ионообменных смол, что большая часть железа (50%...80% общего содержания в почвенном растворе), связана в комплексы с ВОВ. В образовании железо-органических комплексов участвуют различные класса ВОВ: низкомолекулярные органические соединения типа полифенолов, кислые полисахариды, фульвокислоты и в небольшом количестве (8-25%) низкомолекулярные органические кислоты.

Для изучения форм химических элементов в поверхностных водах широко используют гель-хроматографию, позволяющую разделить их по молекулярным массам. В качестве гелей применяют агар-агар, крахмал, полиакриламид, декстран. Наиболее информативные результаты получаются при использовании сефадексов — гелей декстрана. Они представляют собой гидрофильные полисахаридные цепи, поперечно связанные («сшитые») друг с другом и образующие трехмерную макромолекулярную структуру (Flodin, 1962). В зависимости от степени «сшитости» молекул декстрана различают марки сефадексов (G-10, G-25, G-50, G-100, G-200), характеризующиеся пределами фракционирования соединения по величинам молекулярных весов.

Для изучения, химического состава фракций ВОВ используют ИК - спектроскопию, атомно-абсорбционную спектроскопию, элементный микроанализ, электрофорез.

Заслуживают рассмотрения методы исследования ВОВ, разработанные Г.М. Варшал с сотрудниками. Авторы исходят из того, что содержание ВОВ обуславливает качество воды. Кроме того, комплексообразование с ВОВ является одним из решающих факторов, определяющих состояние, формы миграции и возможность аналитического определения элементов в природных водах. Большую часть ВОВ природных вод (до 80%) составляют фульвокислоты (ФК). Как правило, ФК в речных водах тайги содержится на порядок больше, чем гуминовых кислот, и на несколько порядков больше по сравнению с содержанием минеральных компонентов. Фульвокислоты являются основными лигандами, определяющими миграцию многих неорганических макро,- и микрокомпонентов. Гумусовые вещества вод имеют специфические свойства: неоднородный молекулярно-массовый состав, полиядерность, склонность к образованию высокомолекулярных ассоциатов, способных высаливаться из растворов уже при содержании ВОВ в пределах 1,0...1,5 г/л. В поверхностных водах присутствуют многочисленные ВОВ, склонные к активным химическим превращениям и биохимической деструкции.

Адсорбционный метод с использованием активированного угля БАУ предложен для оценки различных классов ВОВ, получения их беззольных препаратов, необходимых для исследования процессов комплексообразования. В его основу положен метод W. Forsyth (1947), который основан на том, что активированный уголь сорбирует из кислых многокомпонентных почвенных растворов фенолы, кислые полисахариды, фульвокислоты; плохо или совсем не сорбирует нейтральные и основные аминокислоты, углеводы, пуриновые основания и ряд других веществ. Предложенная схема предусматривает отделение гуминовых кислот коагуляцией из соляно-кислых растворов, а оставшиеся в фильтрате ВОВ фракционируют с использованием варианта адсорбционно-хроматографического анализа на угле БАУ. Для определения обменной емкости молекулярной массы фульвокислот проводят исследования выделенных препаратов методами потенциометрического титрования, разделения на сефадексах и диализа через целлофановые мембраны.

Вторая схема анализа, в которой гель-хроматография использована в сочетании с целлюлозными ионитами, позволяет проводить фракционирование ВОВ по химической природе (И.С. Сироткина, Г.М. Варшал и др., 1974). Целлюлозные сорбенты наиболее пригодны для разделения смесей органических веществ. Предложенная схема анализа сочетает разделение ВОВ на анионите ДЕАЕ (диэтиламиноэтилцеллюлоза), катионите СМ (карбоксил метил целлюлоза) и на сефадексах различных марок (G-10, G-15, G-25, G-75). Ионообменные целлюлозы позволяют разделить ВОВ природных вод на три группы: кислотную, основную и

нейтральную; в качестве десорбентов используют 0,1 н. раствора NaOH и 0,1 н. раствор NaCl.

Взаимодействие ионов металлов с фульвокислотами сопровождается образованием ряда растворимых катионных, анионных и нейтральных комплексных соединений, а также нерастворимых форм. Характер образующихся соединений определяется прежде всего природой иона металла, степенью дисперсности фульвокислот в растворе, значением pH раствора и рядом других факторов. Изучение одновременно сосуществующих форм металлов в природных лизиметрических водах имеет большое теоретическое и практическое значение. Состояние и формы металлов в растворах определяются в основном двумя процессами: гидролизом и комплексообразованием (Г.М. Варшал и др., 1972; А.И. Карпухин, 1984; А.И. Карпухин, И.М. Яшин, В.А. Черников, 1991). С использованием разнообразных металлов специалистами проведено изучение форм миграции кальция. Установлено, что в высокоцветных речных водах тайги кальций находится преимущественно в *виде анионных комплексов с ВОВ*; этот же эффект также наблюдал И.М. Яшин (1993) при изучении процессов трансформации известковых мелиорантов и миграции кальция в подзолистых почвах подзон южной и средней тайги методом сорбционных лизиметров.

Таким образом, современные физико-химические методы позволяют решать 3 группы вопросов, связанных с эколого-геохимической оценкой почв и ландшафтов:

- во-первых, количественно диагностировать химический состав, структуру и свойства ВОВ;
- во-вторых, определять уровень и специфику антропогенного загрязнения компонентов экосистем экотоксикантами;
- и, наконец, с помощью 3-й группы методов можно получать кинетические параметры, позволяющие контролировать динамику реальных природных процессов (трансформацию растительных остатков, гумификацию).

Обратимся к фактическим результатам полевых опытов.

С помощью метода радиоактивных индикаторов в длительных стационарных опытах на Вилегодском стационаре доказан один из возможных механизмов эмиссии CO_2 из почв экосистем тайги. Он включает стадии образования мобильных и доступных микроорганизмам ВОВ из лесных подстилок и опада экосистем тайги, активную биodeградацию масс ВОВ до CO_2 и дальнейшие превращения этого газа с участием биоты и путем физико-химических взаимодействий с гумусовыми веществами почвы. Изучен баланс углерода $C_{орг}$ при трансформации ВОВ, мобилизованных в раствор из растительных остатков (тотально меченых радиоактивным изотопом ^{14}C), локализованных на поверхности почв, в лесных и пахотных подзолистых почвах средней тайги Архангельской области. Наибольшая эмиссия CO_2 ($83,0 \pm 4,1\%$) из новообразованных жидких масс ВОВ отмечена в пахотных почвах с хорошей аэрацией, а наименьшая

(32,4±2,5%) - в полугидроморфных аналогах, испытывающих сезонное переувлажнение, и торфонакопление (таблица 1).

Таблица 1

Распределение **новообразованных масс ВОВ** (по $C_{орг}$) при трансформации тотально меченого изотопом ^{14}C растительных остатков ячменя в подзолистых почвах средней тайги - Вилегодский стационар в Архангельской области (И.М. Яшин, 1993).

Основные статьи баланса ВОВ по $^{14}C^*$	Глубоко подзолистые легкосуглинистые почвы		
	лесные		Пахотная автоморфная
	Автоморфная	Полу-гидроморфная	
- Остаток $C_{орг}$ ВОВ в исходном растительном субстрате,	16,1±0,3	25,5±0,9	5,8±0,2
- Поглощено $C_{орг}$ ВОВ корнями растений и мхами,	0,9±0,0	7,4±0,6	0,1±0,0
- Сорбция - включение ВОВ в ФК почвы в слое внесения (0 - 3 см),	5,8±0,1	18,2±0,4	4,1±0,1
- Биодegradация ВОВ и эмиссия CO_2	70,4±4,6	32,4±2,5	83,0±4,1
- Миграция ВОВ с потоком влаги в профиле почвы (зона миграции за 2 года: 39 - 44 см).	6,8±0,2	12,5±0,3	7,0±0,2

*) % суммарной активности исходного органогенного субстрата, через 2 года наблюдений. Меченый радиоактивный углерод твердых проб почвы и растений определяли в гелевых сцинтилляторах марки ЖС-13 н. Степень радиоактивности субстратов измеряли на приборе ПП-8 («Волна») с газоразрядным счетчиком Т-25 БФЛ. Ошибка измерения не превышала 10% при доверительном интервале 99%. В работе участвовали профессоры И.Г. Платонов и А.И. Карпухин.

ВОВ – это одна из важных стадий трансформации соединений углерода в экосистемах биосферы в цепи: мертвые *органогенные субстраты* – *жидкие органические вещества* – *газообразные углеродсодержащие соединения*. Источник первых - фотосинтез, вторых – гумификация, а третьих – микробиологическая биодegradация. *Процесс эмиссии CO_2* в лесных экосистемах тайги связан с формами органического и неорганического углерода ($C_{орг} \rightleftharpoons C_{неорг}$) – фотосинтезом и гумусообразованием.

Рассмотрим некоторые фактические сведения по водной миграции ВОВ.

Таблица 2

Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ в подзолах контактно-осветленных супесчаных на двучленах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Яшин И.М., 1995).

Генетический горизонт и глубина установки колонок, см	Общий углерод в почве, %	Вынос $C_{орг}$ ВОВ, г/м ² x год*		Сорбция и минерализация ВОВ в почве, %
		Верхний оксида алюминия	Нижний слой оксида алюминия	
Посадки лиственницы (кв. № 11)				
О – 2**	не опр.	7,4±0,6	3,80±1,4	не опр.
A1/ELh – 22	1,9±0,2	1,2±0,7	0,40±0,15	83,8
ELgh – 34	0,7±0,1	0,9±0,5	0,60±0,4	25,0
ELg – 57	0,4±0,1	0,2±0,1	0,13±0,3	77,8
Посадки дуба (кв. № 11)				
О – 3	не опр.	11,8±3,2	4,70±0,4	не опр.
A1/ELh – 24	2,4±0,5	3,5±1,4	2,20±0,3	70,3
ELgh – 32	0,9±0,4	1,4±0,6	1,10±0,3	60,0
ELg – 63	0,5±0,3	0,6±0,5	0,45±0,1	57,1
Посадки сосны (кв. № 11)				
О – 1	не опр.	5,3±2,0	2,90±0,7	не опр.

A ₁ /ELh – 18	1,1±0,9	3,8±1,7	0,65±0,4	28,3
ELgh– 35	0,5±0,4	2,6±1,5	0,51±0,2	21,1
ELg – 70	0,2±0,1	1,4±0,9	0,32±0,1	46,2

*) В сорбционных лизиметрах использованы 2 слоя оксида алюминия. Повторность закладки колонок 3-4-х кратная; в таблице указаны средние величины и σ .

***) Сорбционные лизиметры устанавливали вблизи проекции крон модельных деревьев.

Из таблицы 2 следует, что в почвах лесопарков *подзоны южной тайги* скорость трансформации растительных остатков значительно выше, чем в почвах средней тайги, а в составе ВОВ из этих субстратов образуются преимущественно фульвокислоты (ФК). Летом мобилизация ВОВ меньше, чем *весной и осенью*, что связано, на наш взгляд, с высокой биологической активностью микрофлоры и утилизацией масс ВОВ. Установлено, наибольший масштаб мобилизации и миграции ВОВ отмечен в фациях дуба. Здесь и в почве отмечено больше гумуса. До глубины 63 см почвы мигрируют 1,05 г/м² Сорг ВОВ. В фациях сосны в почве меньше гумуса. Меньше и масштаб миграции, а глубины 70 см достигают 1,72 г/м² Сорг ВОВ. В фациях лиственницы обнаружен наиболее высокий масштаб выноса ВОВ – 11, 4 г/м² Сорг ВОВ. Но миграционная способность у ВОВ лиственницы низкая. Вещества в основном участвуют в гумусообразовании.

ВОВ условно разделяются (фракционируются, например, в лаборатории на низкозольном активированном угле) на две группы органических соединений:

1-я группа - вещества индивидуальной природы в составе ВОВ представлены: углеводами, органическими кислотами, спиртами, альдегидами, азотосодержащими соединениями (аминокислоты и их производные).

2-я группа - собственно гумусовые вещества в составе ВОВ представлены в основном ФК. Например, содержание низкомолекулярных алифатических органических кислот (НМОК) в водных вытяжках из еловых подстилок достигает 17-215 мг/л, из моховых до 35 мг/л, в смешанной елово-березовой подстилке до 115-168 мг/л. Среди низкомолекулярных органических кислот есть летучие (*уксусная, муравьиная, масляная, пропионовая - активные ингибиторы биоты*) и нелетучие компоненты: щавелевая, лимонная, фумаровая, участвующие в кислотном гидролизе почвенных минералов.

В настоящее время накоплен большой фактический материал, на основании которого можно заключить, что ВОВ выполняют важнейшие экологические функции, участвуя в экосистемном и ландшафтном круговоротах веществ, определяя качество поверхностных вод зоны тайги (Яшин И.М, 1993).

В известной мере, новую информацию о загрязнителях поверхностных вод можно получить на основе изучения водной миграции ВОВ и загрязнителей в почвах аграрных и иных ландшафтов, прилегающих к водоемам, с помощью метода сорбционных лизиметров (рис.27-32).

Конструкции сорбционных лизиметров инновационного типа

Ранее нами были рассмотрены *общие сведения о сорбционных лизиметрах*. В лаборатории агроэкологического мониторинга (ЛАМП) кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева усовершенствована и успешно внедрена в практику экологического мониторинга *технология сорбционных лизиметров* (Яшин И.М., Васенев И.И. (1974, 1993, 2007-2014), Мухин Е.В. (2006), Кузнецов П.В. (2011), Петухова А.А. (2012-2013), Когут Л.П. (2012-2014) и др.). Метод отличается простота, эффективность и мобильность – возможность установки этих устройств в труднодоступных ландшафтах. **Сорбционный лизиметр** (СЛ, рис. 27) представляет собой конструкцию, состоящую из сорбционной колонки со слоями химически очищенного кварцевого песка и сорбентов (в них и происходит поглощение мигрантов); двух вакуумных шлангов, соединяющих колонку с приемником вод и для связи с атмосферой. Одно из достоинств СЛ – активная аккумуляция в массе сорбентов, в том числе и экотоксикантов, а не только продуктов почвообразования, с последующей уверенной их диагностикой в лаборатории ЛАМП с помощью инструментальных методов. Поглотители: активированный уголь, оксид алюминия и ионообменные синтетические органические смолы. Применяются и иные сорбенты, в том числе и для отдельных веществ. Но они обычно весьма дорогие.

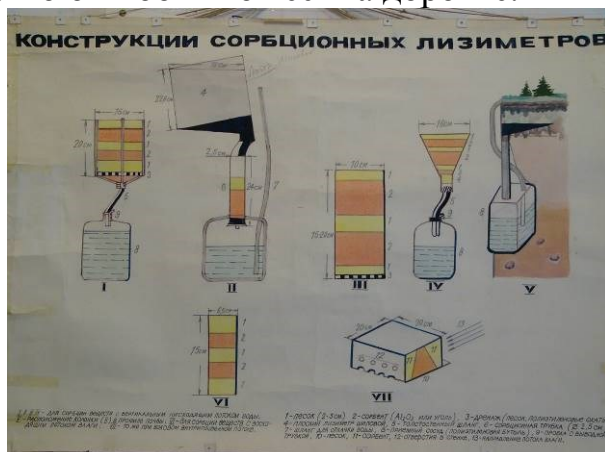


Рис. 27. **Конструкции сорбционных лизиметров**, наиболее широко используемых для оценки водной миграции веществ в форме ионов и молекул в почвах: I, IV – предложенные Кауричевым И.С. (1958); II, V, VI – разработка Яшина И.М. (1969-1974, 1993); III, VII – колонки для учета восходящих и боковых потоков мигрантов в почвах на двучленах, апробированные Кашанским А.Д. (1972).



Рис.28. **А** - Установка сорбционных лизиметров в профиле лугово-черноземной почвы **Правобережья Саратовской области** аспирантом Кузнецовым П.В. в 2006 году; **В** – сорбционная колонка, извлеченная из-под лесной подстилки в таежном лесопарке Петрозаводска: на гифах плесневых грибов гирляндами висят белые частицы кварцевого песка и бурые гранулы катионита КУ-2; микроорганизмы – **источники микотоксинов, алкалоидов и низкомолекулярных органических кислот** (фото Яшина И.М., 2004, 2006).

Применение сорбционных лизиметров в почвах стационарных площадок некоторых ландшафтов России

Сорбционные лизиметры достаточно широко применяются при исследовании водной миграции ионов и молекул веществ как *нативного, так и антропогенного генезиса* – от северотаежных экосистем Архангельской области до лесостепи Правобережья Среднего Поволжья и лесопарков Москвы и Петрозаводска (табл. 2,3).



Рис.29. **А** - Сорбционные лизиметры в профиле почвы **Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева**; **В** – профессор Яшин И.М. перед установкой СЛ в профиле дерново-подзола **ЦЛГПБЗ Тверской области** (фото Яшина И.М., 2011).



Рис. 30. **А** – сорбционные лизиметры в почве учхоза «Дружба» Ярославской области устанавливает студент-эколог РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Кашаев Артур; **В** – студентка-дипломница Наумова Елена устанавливает СЛ в профиле деградированного подзола в лесопарковой фации Петрозаводска (фото Яшина И.М., 2014, 2009).

СЛ перспективны также для экологической оценки водоохраных зон рек и озер; при мониторинге почв агроэкосистем, где вносят большие дозы органических и минеральных удобрений, в пределах промышленных хвостохранилищ, складирования твердых отходов производств, вблизи угольных и иных терриконов. Не менее актуально использование СЛ в поймах рек, садах и огородах. Поэтому подготовка, унификация и применение конструкций СЛ в настоящее время требует уже не лабораторного, а производственного уровня с привлечением бизнеса.



Рис. 31. **А** – колонки в профиле дерновой почвы, развитой на шунгитах, острова Кижы Карелия; **В** – аспиранты Пескарев А. и Петухова А. устанавливают СЛ в почве ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, фото Яшина И.М., 2003, 2011).

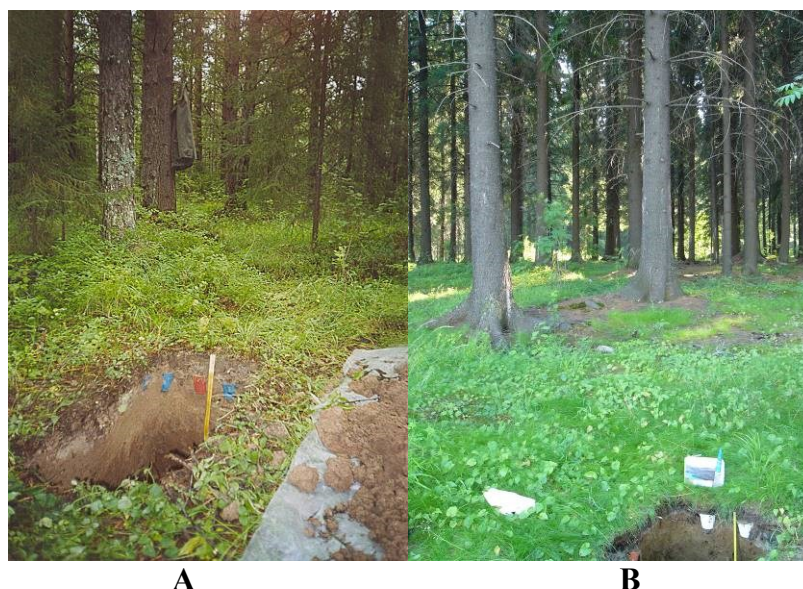


Рис. 32. **А** – сорбционные лизиметры в профиле глееподзолистой почвы стационара Музея деревянного зодчества «**Малые Корелы**» **Архангельской области** (подзона северной тайги, регион Беломорско-Кулойского плато, где в 1981 году разведаны *промышленные залежи алмазов* - трубки «Пионерская» и др., но вмещающие их горные породы заметно обогащены токсикантами Ва, V и иными); **В** - сорбционные лизиметры в почве таежной лесопарковой фации **Петрозаводска** (нижняя 1/3 склона увала, где происходит «разгрузка» латерального потока в двучленах), фото Яшина И.М., 2003, 2009.

СЛ способны уточнить очистку воды. Чистая вода хороша для химических целей (в фармакологии) и вредна для биоты, людей.

Ранее метод сорбционных лизиметров был использован автором для оценки продуктов трансформации веществ органических субстратов в почве. Данный прием был назван нами как «*модифицированный вариант СЛ*» (Яшин И.М., Черников В.А. и др., 1989 – Авт. свидетельство на изобретение № 1686350 от 28.03.1989). С помощью СЛ в полевых модельных опытах было изучено соотношение *жидких и газообразных компонентов* при трансформации растительных остатков в почве. Наряду с органическими

Таблица 3

Масштаб внутрипрофильной миграции компонентов ВОВ и соединений железа в подзолах контактно-глееватых на двучленах в лесопарковом ландшафте г. Петрозаводска¹⁾, в почвах заповедников острова «Кижы» (Онежское озеро) и «Кивач» Карелии (Яшин И.М., 2009).

Горизонт и глубина установки сорбционных лизиметров, см	С _{орг} ВОВ, г/м ² за 1 год			Fe ³⁺ , мг/м ² за 1 год	
	В составе водо-ацетонового элюата из угля – (ИОВ)	В составе аммонийного элюата из угля - (ФК)	По сорбции ВОВ на Al ₂ O ₃	После разрушения ВОВ, 20% H ₂ O ₂	% ионов Fe ³⁺ , прочно связанных с ВОВ
Таежный лесопарк в Петрозаводске. Разрез 4п. Ландшафт автономный (плакор) не трансформированный: ельник-черничник разнотравный. Наблюдения: июль 2003 - июль 2004 гг.					
A ₀ ^T – 3	5,2 ±1,5	2,4 ±0,9	1,3 ±0,5	449,2	54,3
E _h - 14	4,6 ±1,3	2,1 ±0,8	0,9 ±0,1	316,6	59,6
B _г - 36	0,5 ±0,1	0,9 ±0,2	0,1 ±0,0	38,5	72,4
Разрез 5п. Ландшафт транс-элювиальный. Вырубка (западинка с олиготрофами в средней части склона увала). Наблюдения: июль 2002 - июль 2003 гг.					
A ₀ TM - 5	17,9 ±3,5	8,3 ±1,6	4,7 ±1,5	429,4	67,2

E_{hg} - 12	14,1 ±3,2	10,9 ±1,9	2,5 ±0,7	697,5	70,4
$V_{fhg(тр.)}$ - 39	3,7 ±1,1	14,4 ±2,4	0,8 ±0,3	722,5	70,8
$V_{fh(не тр.)}$ - 38	1,9 ±0,7	4,9 ±1,6	0,5 ±0,1	189,2	76,3
Разрез 5п. Ландшафт транс-элювиальный. Вырубка (западинка с олиготрофами в средней части склона увала). Наблюдения: июль 2003 – июль 2004 гг.					
A_0^{III} - 4	10,5 ±2,7	5,4 ±1,8	3,8 ±1,3	318,4	52,7
E_{hg} - 11	7,9 ±1,4	2,8 ±0,7	2,9 ±0,8	224,2	58,6
V_{fhg} - 37	1,4 ±0,3	2,6 ±0,7	0,4 ±0,0	112,8	64,3
Разрез 3п. Ландшафт транс-аккумулятивный. Вырубка на опушке леса - нижняя 1/3 склона увала (на поверхности почвы зеленые и сфагновые мхи). Наблюдения: июль 2003 – июль 2004 гг.					
A_0^{III} - 5	14,7 ±3,1	6,8 ±1,4	5,8 ±1,9	543,9	59,6
$E_{hg(тр.)}$ - 15	8,5 ±1,8	9,6 ±2,2	4,1 ±1,3	705,3	38,4
$V_{fg(тр.)}$ - 40	2,3 ±0,8	3,7 ±1,1	2,0 ±0,6	198,2	29,7
Разрез 1. Контроль 1 - заповедник «Кивач». Ландшафт автономный лесной: «Сопохский бор» - беломошник. Почва – подзол иллювиально-железистый песчаный на флювиогляциальных бескарбонатных отложениях. Наблюдения: 28.09.1971 – 15.06.1972 гг.					
A_0^{III} - 5	5,1 ±0,9	3,3 ±0,7	не исп.	521,7 ±24,1	68,1
E_h - 12	3,5 ±1,1	3,2 ±1,5	не исп.	391,3 ±17,9	92,4
V_f - 37	4,1 ±0,7	3,7 ±1,3	не исп.	286,8 ±18,4	100
Разрез 2. Контроль 2 – заповедник «Кижи» в Онежском озере. Ландшафт полевой с луговым разнотравьем (склон гряды). Почва: дерновая шунгитовая среднесуглинистая на аллювиальных (озерных) отложениях. Наблюдения: июль 2003 - июль 2004 гг.					
A_d - 4	3,4 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,1	21,1	44,7
A_1 - 10	0,9 ± 0,0	0,2 ±0,0	0,2 ±0,0	66,7	53,9

1) В полевых изысканиях участвовал аспирант кафедры экологии РГАУ-МСХА Мухин Е.В.

субстратами, СЛ целесообразно использовать для уточнения мобилизации в раствор и экотоксикантов, в частности, ионов тяжелых металлов из различных отходов производств – ТБО, опилок, сапропелей, мелиорантов и т.д. Поскольку именно ионы и молекулы включаются в биогенный и абиотический потоки миграции в экосистемах. СЛ помогут уточнить источники суперэкотоксикантов в почвах, например, микотоксинов и компонентов нефтепродуктов, углубить понятие «почвоутомление», полнее понять генезис кислотности и симбиоз микроорганизмов с растениями.

Уместно обратиться к месторождениям сапропеля на Европейском Севере РФ и охарактеризовать их генезис. Геологами и болотоведами давно были разведаны огромные залежи сапропеля в РФ – порядка 31,5 млрд. т. Месторождения сапропеля известны и в Архангельской области, в частности, в акватории озера Лача, где автор настоящей книги в 1980 году проводил крупномасштабное почвенное картирование землепользования совхоза «Каргопольский», а затем и лизиметрические опыты. Озеро примечательно тем, что из него *вытекает река Онега*, на берегах которого расположен город Каргополь, основанный в 1146 г. (первое упоминание об этом городе можно найти в Никоновской летописи за 1380 год). Город несколько раз страдал от крупных пожаров. И отстраивался заново. Поэтому на удалении 1,5-2 км от города нет лесов.

Координаты объекта исследований: 61°30' с. ш. и 38°56' в. д. характерны для подзоны средней тайги ЕСР. Официальный сайт – www.kargopol.ru. Расстояние от Архангельска – 427 км, а от Москвы – 1000 км. Из Архангельска в Каргополь летает самолет. А из Москвы следует доехать по железной дороге сначала до ст. Няндомы, а затем автобусом добираться 90 км до Каргополя.

Исследуемый регион расположен вдали от источников загрязнения, богат историческими и культурными ценностями, часто посещается туристами. Регион не испытал нашествия татар и монголов. Церковные реликвии были в запустении и заброшены.

Интересны географические особенности объекта. Озеро Лача расположено в обширной котловине ледникового генезиса с абсолютными отметками зеркала воды 118 м над у.м. и вытянуто с севера на юг. Ширина озера – 13,9 км, длина – 33,8 км, глубина заметно варьирует от местоположения замеров и в среднем колеблется в пределах 3,6-6,7 м. Озерная вода хорошо прогревается летом и не загрязнена экотоксикантами (город Каргополь находится на удалении 3 км от озера, а жилые и хозяйственные постройки совхоза «Каргопольский» - в 1,7 км). Озеро богато рыбой. Много веков назад через этот город шла оживленная торговля российских купцов с Поморьем. И озеро, и река свои ложа располагают в коренных осадочных породах морского генезиса – доломитах и известняках мощностью несколько сотен метров. По берегам реки Онега и озера Лача издревле селились люди из Новгорода, Рязани, Владимира, Суздаля, спасаясь от татаро-монгольского нашествия. Переселенцы вырубали лес, мастера строили деревянные дома (некоторые из них доставлены в 1974 г. в Музей деревянного зодчества под Архангельском «Малые Корелы»), земледельцы-крестьяне создавали суходольные луга, продуктивные пашни и пастбища на высокоплодородных дерново-карбонатных почвах. Поэтому в летописях данный ландшафт известен как регион земледелия «Каргопольская сушь». *Людей в этом суровом крае кормили не только лес, озеро и река, но и плодородные дерново-карбонатные почвы (некоторые почвоведы называли их «северными черноземами»).* Продукты растениеводства и животноводства данного региона издавна отличаются более высоким качеством в сравнении с другими таежными ландшафтами, почвы которых сформировались на бескарбонатной завалуненной морене и флювиогляциальных породах.

Поскольку плодородные пахотные участки дерново-карбонатных почв на пологих склонах озерных террас располагались непосредственно у берегов озера Лача, вековая эрозия способствовала смыву и переотложению мелкозема гумусовых горизонтов почв в акваторию озера. Со временем в донных осадках озера и сформировались *слои сапропеля*. Побережье озера зарастало кустарником, луговым разнотравьем и олиготрофами; поверхность почвы на этих участках становилась сильно кочковатой. В отличие от многих других месторождений сапропель озера Лача почти экологически безопасный. Его образцы можно, на наш взгляд, использовать в качестве фоновых для сравнения с другими залежами сапропеля, испытывающими

современное антропогенное загрязнение (аэральное и флювиальное). Уместно напомнить, что термин «сапрпель» в переводе с греческого означает «гниющий ил» (проще говоря, озерный ил, состоящий из органических веществ, минеральной основы и органо-минеральных соединений – И.Я.).

Чтобы иметь более полное представление о генезисе и свойствах сапрпеля озера Лача, необходимо кратко охарактеризовать особенности почв, обрамляющих акваторию озера Лача, из которых он и сформировался. Рассматриваемая информация базируется на авторских долговременных полевых и стационарных исследованиях в северной части озера Лача в 1980-1991 гг. В частности, мною была составлена крупномасштабная почвенная карта агроландшафтов в М 1:10 000 на территорию совхоза «Каргопольский» и проведены лизиметрические опыты по водной миграции продуктов почвообразования в лесных и пахотных экосистемах. Изучены особенности мощных низинных торфяников у д. Андроновская, охарактеризованы химические свойства сапрпелей озера Лача у истока р. Онега.

Дерново-карбонатные почвы развиваются в тех же биоклиматических условиях, что и подзолистые почвы, под хвойными лесами с участием лесных видов трав и мохового покрова (эти фации именуется «малегами»). Благодаря очень близкому расположению в профиле известняков, при участии кислотных компонентов ВОВ частицы и обломки CaCO_3 активно трансформируются, а ионы кальция включаются в поглощающий комплекс и биогеохимический круговорот. Поэтому растительный опад, поступающий на поверхность лесной подстилки, оказывается высокозольным с низким содержанием органических кислот. В отличие от подзолистых почв в дерново-карбонатных аналогах кислотный гидролиз почвенных минералов почти не проявляется из-за избытка ионообменного кальция, усредняющего ВОВ и ФК с кислотными свойствами. Вместо свободных кислот в профиле мигрируют их соли – гетерополярные и комплексные. *Подзолообразование резко затормаживается*, развитие получает *гумусообразование*, а в составе гумусовых веществ в гор. A_1 доминируют высокомолекулярные гуминовые соединения. В профиле дерново-карбонатных почв образуется чётко выраженный и почти черный гумусово-аккумулятивный гор. A_1 . Он имеет высокую ёмкость поглощения, $pH_{H_2O} = 5,6-6,4$ и содержит значительные количества доступных форм фосфора и калия (соответственно 124 и 341 мг/кг). Карбонатно-кальциевый барьер миграции в профиле дерново-карбонатных почв благоприятствует гумусонакоплению. В то же время в современных условиях, при антропогенезе, в них могут активно аккумулируются и экотоксиканты, если такие почвы близко расположены к источникам загрязнения – автострадам и т.д. Данный факт следует учесть при оценке экологической ситуации, так как профили изучаемых почв весьма небольшие по мощности (37-43 см).

Использование сапрпеля и рекультивация акватории озера Лача.

Являясь высококачественным органоминеральным удобрением, сапрпель может быть с успехом использован в качестве эффективного местного

органоминерального удобрения. Иначе говоря, сапропель должен быть возвращен в те дерново-карбонатные почвы склонов озерных террас, откуда был смыт при эрозии в озеро. Разработка месторождений сапропеля позволит *очистить истоки реки Онега от донного ила*, улучшит гидрохимический состав воды, будет способствовать увеличению численности рыб, положительно скажется на судоходстве по озеру и летнем отдыхе людей.

Отметим, сколь бы широк ни был спектр измеряемых химических и физико-химических параметров, основывающихся на отборе и анализе проб поверхностных вод, он оказывается недостаточным для исчерпывающей эколого-геохимической характеристики агроландшафта и складированных там силосных и сенажных ям, пунктов заправки горюче-смазочных материалов, старых хранилищ удобрений и извести. *Нужно больше внимания уделять постановке полевых опытов*, в частности по миграции ВОВ в лесных и аграрных экосистемах. *Приемы экспериментального и математического моделирования также помогут решать вопросы загрязнения поверхностных вод при воздействии сельскохозяйственного производства.*

Методы диагностики токсикантов в поверхностных водах (инструментальные) методы анализа

Для количественной диагностики загрязнителей, попадающих в агроландшафты вследствие различных процессов трансформации и миграции, используют физико-химические методы анализа. Их общее число достигает несколько десятков. В эко-геохимических исследованиях широко применяют 4 группы методов:

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

Эти группы методов объединяют под общим названием – *инструментальные методы анализа природных объектов.*

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

Группа электрохимических методов основана на измерении электрической проводимости, потенциалов и других свойств веществ в растворах. Она включает методы кондуктометрии, потенциометрии и вольтамперометрии.

В группу хроматографических методов входят газовый, газо-жидкостный, жидкостный, тонкослойный, ионообменный, адсорбционный методы анализа сложных природных и антропогенных веществ. Они основаны на сорбционно-десорбционном разделении сложных смесей веществ при

направленном потоке жидкости (газа) между двумя несмешивающимися фазами. Эти методы позволяют не только разделять многокомпонентные природные образования, но и выделять препаративно отдельные фракции по величинам молекулярных масс и группы веществ (Фокин, 1975; Яшин, 1993).

При изучении поведения конкретных химических элементов в компонентах ландшафтов используют *специальные передвижные эко-геохимические лаборатории* без отбора проб почвы, воды, растений с автоматической записью результатов. Подобные изыскания в агроэкосистемах весьма эффективны, поскольку они экспрессивны, автоматизированы и непрерывны во времени и пространстве реального ландшафта. Такие лаборатории имеются, в частности, в распоряжении американских специалистов и используются при эколого-геохимическом мониторинге ландшафтов.

Реализация любого физико-химического метода анализа включает *ряд стадий*:

- 1) отбор пробы (воды, почвы, растительности и т.д.);
- 2) консервация пробы и ее транспортировка (в образцы воды добавляют антисептик; образцы почвы и растений высушивают до воздушно-сухого состояния и упаковывают в специальные мешочки;
- 3) хранение проб и их подготовка к анализу: например, проводят мокрое или сухое озоление растительных образцов; получают необходимые элюаты из проб почвы (щелочные, кислотные), концентрируют изучаемые вещества или на твердом сорбенте, или путем вымораживания, соосаждения и выпаривания. *Любая такая процедура может вызвать непредвиденные артефакты, поэтому здесь необходим «внутренний стандарт»;*
- 4) измерение контролируемого параметра лучше проводить параллельно с эталонными образцами, чтобы получить калибровочные графики. При использовании приборов происходит направленное (энергетическое или вещественное) воздействие на вещества пробы;
- 5) оценка результатов измерений (рассчитываются случайные и систематические ошибки). Если полученные результаты близки к истинным значениям (например, стандартам), то они считаются правильными. Близкие значения концентраций изучаемого химического соединения в параллельных опытах позволяют констатировать, что такие результаты являются воспроизводимыми;
- 6) на основе полученных данных судят об эко-геохимическом (и ином) состоянии объекта. При этом важно помнить, что во всех вышеуказанных стадиях наиболее ответственной при исследовании экосистем является *грамотный отбор образцов почв, воды, растений*. Помощь здесь может оказать качественная картографическая основа. Ошибки, допущенные на этапе отбора проб, уже нельзя исправить в дальнейшем (необходимо будет повторить экологическое картирование на тех участках, где отмечены неожиданные флуктуации экотоксикантов).

Рассмотрим кратко некоторые виды инструментального анализа.

Эмиссионный спектральный анализ наиболее распространен. С помощью *пламенной фотометрии* определяют в основном щелочные и щелочноземельные элементы. Из токсичных металлов чаще всего диагностируют Rb, Cs и Sr. Недостатками метода являются большая зависимость показаний прибора от температуры пламени и существенное наложение соседних линий спектра. При большом содержании химических элементов (более 1%) спектральный анализ уступает по точности другим методам.

Эмиссионный анализ не требует сложных подготовительных операций с пробами, отличается простотой выполнения и высокой производительностью. Метод характеризуется высокой чувствительностью – 10^{-3} ... 10^{-4} % (до 10^{-5} %). Погрешность 1...3%.

Атомно-абсорбционный спектральный анализ в почвенно-экологических исследованиях 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. Широко используют для десорбции Zn, Cu, Pb, Cd, Ca из образцов почв 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. Метод используют для диагностики «следовых» масс элементов в агроэкосистемах: в поверхностных водах, растениях, мобильных формах гумуса, продуктах питания, сточных бытовых водах.

К недостаткам метода можно отнести необходимость растворения пробы (что делает анализ более продолжительным, возрастает вероятность ошибок), а также невозможность диагностики таких элементов, как углерод, фосфор, галогены и др., спектры (точнее резонансные линии) которых лежат в области ультрафиолетового излучения. Существенным недостатком метода является невозможность одновременного определения нескольких элементов.

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.

Более подробно эти вопросы излагаются в специальных пособиях.

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 $\text{C}=\text{C}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{N}=\text{N}$, $\text{N}=\text{O}$, $\text{N}=\text{N}$, $\text{S}=\text{O}$, SO_2 , NO_2 , $\text{P}=\text{O}$ и др. 2. концентрацию вещества на основании закона Бера, который отражает связь между поглощающей способностью слоя вещества d и его концентрацией C 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. Известно, что электрическая проводимость с увеличением концентрации растворов возрастает из-за увеличения числа ионов при диссоциации молекул. В концентрированных растворах возрастают силы межмолекулярного взаимодействия, которые благоприятствуют формированию ассоциатов и ионных пар, увеличивается вязкость раствора, а удельная электрическая проводимость снижается. Для измерений часто используют участок кривой на графике ($\kappa - C$) в области разбавленных и умеренно концентрированных растворов. 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 титрование 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. Карпучин, И.М. Яшин, В.А., Черников, 1990).

Практическое использование методов измерения электрической проводимости весьма эффективно при контроле качества дистиллированной воды в лабораториях, поверхностных вод, в медицине и фармакологии, в технике водоочистки и оценить загрязнения сточных и природных вод – грунтовых, болотных, артезианских, речных. Кондуктометрия используется при контроле качества молока, различных напитков, пищевых продуктов и добавок к ним. Успешно применяется для количественного определения катионов и анионов в растворах: нитратом серебра титруют Cl^- , Br^- , I^- , $C_2O_4^{2-}$ и другие анионы; хлоридом бария с добавлением спирта диагностируют анионы хромата, карбоната, оксалата, цитрата и других; титрованием ЭДТА определяют Fe^{3+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} и т.д.

Потенциометрия основана на определении точки эквивалентности по результатам потенциометрических измерений. Вблизи точки эквивалентности, например, при титровании водного раствора фульвокислот, выделенных препаративно (по методам W. Forsyth и Пономаревой) из гор. А₁ дерново-подзолистой почвы ЛОД МСХА водным раствором щелочи, 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. При потенциометрическом титровании собирают цепь из индикаторного электрода (им может быть водородный,

хингидронный, стеклянный) в изучаемом растворе и электрода сравнения второго рода⁴ (хлорсеребряный и каломельный). *Применение.* Потенциометрические методы имеют важное значение при диагностике рН растворов, концентрации (активности) других ионов с помощью ионоселективных электродов (ионометрия). В настоящее время имеются электроды на ионы Cu^{2+} , Ag^{2+} , Ag^+ , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , F^- , S^{2-} , NO_3^- и др., которые используются при локальном мониторинге объектов экосистем и ландшафтов. С помощью кальциевого ионоселективного электрода, например, *определяют жесткость поверхностных вод.*

Методы поляриметрии. Основу количественных поляриметрических методов составляет известное уравнение $\alpha = \alpha_{\text{уд}} \cdot l \cdot C$, связывающее угол вращения плоскости поляризации с концентрацией изучаемого вещества. На практике это уравнение используется редко, чаще применяют метод градуировочного графика в координатах: угол вращения α – концентрация C . Этот метод широко применяют в пищевой промышленности (сахарной и масложировой), фармацевтическом производстве, парфюмерии. Смесь оптически активных веществ можно проанализировать спектрополяриметрическим методом, измеряя угол вращения при разных длинах волн. Метод позволяет получить ценную *информацию о структуре органических веществ* поверхностных вод и почв.

Нефелометрический метод используют при анализе коллоидных гидрозолей, суспензий, эмульсий, различных взвесей (почвенных, донных отложений) и иных гетерогенных (мутных) сред. Интенсивность пучка света, проходящего через подобную систему, заметно уменьшается за счет светорассеивания. Частицы, размеры которых больше длины волны падающего света, активно его рассеивают. Таким образом диагностируют коллоидные системы (конус Тиндаля). Интенсивность рассеивания света подчиняется закону Рэлея.

Методы поляриметрии и нефелометрии широко применяют при технологическом контроле в пищевой промышленности, медицинских (клинических) анализах, диагностике состояния кондитерских изделий, молока, масла, жиров, мутных речных вод.

Рентгенорадиометрический анализ основан на облучении минералов и пород γ -квантами и измерении вторичного излучения химическими элементами. Обычно облучение проводится изотопными источниками и портативными рентгеновскими трубами.

Рентгеноспектральный анализ успешно применяется для оценки валового состава горных, подстилающих и почвообразующих пород, при котором используются квантометры КРФ-18, ARL-7200, PW-1600. Сумма определяемых оксидов варьирует от 98,5 до 101,5%.

⁴ Электроды второго рода состоят из металла, покрытого слоем малорастворимого соединения этого же металла и погруженного в раствор хорошо растворимого соединения с тем же анионом. Электрод первого рода: $\text{Zn}|\text{ZnSO}_4|$.

Для проведения экспрессных анализов элементов от Na до Ba и от Hf до U применяют приборы типа «БАРС», на которых одновременно определяют 2...4 элемента, а также «Минерал», «Поиск» и др. В полевых условиях на приборе «Феррит» с высокой точностью устанавливают содержание в почвах и породах элементы группы железа.

Фотоэлектроколориметрический метод основан на способности многих элементов, находящихся в специальной вытяжке, поглощать или рассеивать свет определенной длины волны. Светопоглощение количественно связано с концентрацией металла, этот эффект и используется для его определения. Метод отличается простотой и компактностью оборудования при регистрации фототоков. Недостаток метода – в невозможности одновременного определения группы элементов.

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.

Метод позволяет анализировать ионы металлов, многие анионы, органические и неорганические соединения, способные к электрохимическому окислению или восстановлению. При диагностике тяжелых металлов в растворе используют методы калибровочных кривых, стандартных растворов и добавок.

Флуоресцентный (люминесцентный) анализ применяется при диагностике минералов, содержащих уран и лантаноиды. После сплавления отобранных образцов с соответствующими флюсами под воздействием ультрафиолетового излучения наблюдается свечение – люминесценция. Уровень свечения фиксируется фотоэлементами. Флуоресцентными свойствами обладают также органические вещества с сопряженными связями. Метод особенно эффективен при **исследовании состава сточных вод** без их предварительной подготовки. Большой интерес вызывает использование люминесцентных индикаторов в титрометрических методах. Подобные индикаторы (d-нафтиламин, акридин и др.) изменяют цвет или интенсивность люминесценции в зависимости от свойств компонентов реакции, pH раствора или присутствия окислителя. Например, медь можно титровать флуорексоном в присутствии таких ионов металлов, как Ni^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Co^{2+} в растворах, содержащих 0,01...0,1 мкг Cu^{2+} /мл. Применение люминесцентных индикаторов позволило решать ряд сложных задач, связанных с количественной оценкой и анализом некоторых тяжелых металлов в мутных водах и окрашенных пищевых продуктах: фруктовые соки, вина, вытяжки из лекарственных растений. Установлено, что интенсивность люминесценции существенно возрастает при замораживании растворов ($t^{\circ} = -196^{\circ}C$). Эту особенность нередко используют для количественного определения **Pb, Sb и Bi** в форме их галогенных комплексов. *Люминесценция наблюдается также при замораживании*

органических веществ (нафталина, бензола, витаминов, антибиотиков, пигментов) и металлорганических комплексов. Метод успешно модернизируется и является одним из перспективных.

Хроматографический метод анализа был разработан русским ботаником М.С. Цветом в 1903 г.. Этот метод М.С. Цвет назвал хроматографией (от греч. хромос – цвет). Основу хроматографии составляет *сорбция веществ* в динамических условиях аналитического опыта. В простейшем виде она реализуется в лабораторном эксперименте путем фильтрации изучаемого природного раствора (*пигментов листьев растений, болотных вод, водных вытяжек из лесных подстилок, дождевых и талых вод*) через хроматографическую колонку со слоем целевого (чистого) сорбента. Вследствие различной сорбируемости компонентов той или иной смеси при вертикальном нисходящем перемещении раствора происходит их разделение по длине слоя сорбента за счет многократного повторения элементарных актов сорбции-десорбции и различной сорбируемости компонентов смеси (И.М. Яшин, 1993). В ландшафтах сорбция реализуется как *самопроизвольный процесс* концентрирования (сгущения) молекул, ионов и ассоциатов молекул (например, гумусовых веществ) на поверхности раздела фаз гетерогенных систем или в объеме поглотителя – почвы, донных осадков. Сорбция делится на физическую и химическую.

Первый тип характеризуется слабыми межмолекулярными силами взаимодействия. Подобные реакции на поверхности сорбента обратимы, быстро достигают стационарного состояния и существенно не изменяют структуры химических соединений. Здесь применимо уравнение сорбции, предложенное Ир. Лэнгмюром (1916). При *хемосорбции* наблюдается химическое взаимодействие между сорбатом и сорбентом. При этом молекулы сорбата на поверхности поглотителя теряют свою индивидуальную структуру и свойства. Вытеснить поглощенные вещества при такой сорбции в полной мере не удастся. 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.

Колоночная адсорбционная хроматография (сорбенты Al_2O_3 , активированный уголь) используется при изучении абиогенных потоков ряда химических элементов в почвах агроландшафтов в виде метода сорбционных лизиметров (И.М. Яшин, 1993).

Ионообменная хроматография широко применяется, например, для очистки водных растворов фульвокислот и гидрозолей гуминовых кислот от ионов металлов и анионов кислот (В.А. Черников, 1984).

Основными узлами приборов для хроматографического анализа являются: дозатор (система ввода пробы), хроматографическая колонка и детектор.

В опытах, где применяются бумажная, тонкослойная и некоторые другие виды хроматографии, можно использовать простые приспособления и установки. Подобные устройства применялись для оценки ряда сорбционных

характеристик поглотителей (Al_2O_3 , угля, ионитов) для сорбционных лизиметров.

Метод электронной микроскопии широко применяется при исследовании природы гуминовых и фульвокислот, выделенных препаративно из почвы (В.А. Раскатов, Р.А. Хмельницкий, 1990). Его используют и для оценки продуктов взаимодействия гумусовых веществ с тяжелыми металлами (диагностика размеров и формы молекул гуминовых соединений). При подготовке проб гумусовых веществ к анализу могут образоваться упрощенные структуры округлой формы, что ограничивает возможность метода.

Химические методы используются также в фотометрии для получения окрашенных соединений при определении неорганических ионов. При этом лигандами могут быть как органические соединения, так и неорганические анионы. Например, ионы тиоционата SCN^- используют при фотометрической диагностике Fe, Co, Mo, W, Bi, пероксид водорода H_2O_2 – при определении Se, V, Ti, аммиак NH_3 – при определении Cu. Широко используются специальные органические реактивы для фотометрического определения неорганических ионов: Al^{3+} с алуминоном, Ba^{2+} с хлорфосфоном, Bi^{3+} с дитизоном и тиомочевинной, Cd^{2+} с дитизоном, Fe^{3+} с сульфосалициловой кислотой, Co^{2+} с 1-нитрозо-2-нафталом, Cu^{2+} с фенантролином, Hg^{2+} с дитизоном, Pb^{2+} с сульфарсазеном, Cr^{3+} с ЭДТА. Необходимо обращать внимание на pH, $t^\circ\text{C}$, концентрацию раствора, растворитель (полярный или неполярный) и способ приготовления растворов (качество химических реактивов).

На воспроизводимость инструментальных методов кроме общих факторов (точность взвешивания образцов, отмеривания объемов реагентов стандартным пробоотборником) влияет стабильность работы приборов, зависящая от устойчивости напряжения, силы тока и внешних электромагнитных помех. Для получения точных результатов на приборе производят 3...5 измерений, а полученные данные обрабатывают методом вариационной статистики для однородной выборки.

Математическая обработка результатов химических анализов (для однородной выборки) на первом этапе предусматривает оценку типа распределения (нормальное, логнормальное, Вейбулла). Если кривая плотности нормального распределения симметрична, т.е. подчиняется закону распределения случайных величин Гаусса, то можно использовать известную формулу: $\bar{x} = \Sigma x/n$, где \bar{x} – среднее; n – число измерений; x_1 – значение отдельного измерения. Важными характеристиками среднего значения \bar{x} являются дисперсия $\delta^2 = \Sigma(x_1 - \bar{x})/n - 1$ и коэффициент вариации $V = \sigma/\bar{x} \cdot 100$. Дисперсия отражает однородность изменений. Однако при наличии в той или иной природной системе (почве, водах) органических лигандов и ионов переходных металлов возможно периодическое изменение концентраций, например ионов тяжелых металлов, и дисперсия признака может стать явно неоднородной. Поэтому только математическая диагностика случайных ошибок на основе вариационной статистики в

экологии, почвоведении уже недостаточна. Для проведения опытов с заданной точностью ($\Delta = \sigma/\bar{x}$, σ_0 – среднеарифметическое значение среднеквадратичного отклонения σ равно $\sigma_0 = \sigma/\sqrt{n}$) и достоверностью следует знать некое минимальное число измерений

$$N_{\min} = \sigma^2 \cdot t^2 / \sigma_0^2 = K_B^2 \cdot t^2 / \Delta^2, \quad (15)$$

где K_B – коэффициент вариации, устанавливается в рекогносцировочных опытах; %; Δ – точность, задается наблюдателем, но не должна быть выше, чем у прибора, например, 3%; t – критерий Стьюдента, берется из таблиц – при 0,95, $n = 5$, $t = 2,77$. Тогда $N_{\min} = 15^2 \cdot 2,77^2 / 7^2 = 39$. Отсюда следует, что чем переменнее значение признака, тем больше число лабораторных измерений предстоит совершить, чтобы достичь тех параметров точности и достоверности, которые исходно были определены исследователем.

В статистике есть один из приемов оценки грубых ошибок аналитических измерений, которые стабильны в химическом опыте. Это так называемое «правило трех сигм» (3σ). По мнению авторов этой методики, разброс случайных величин от их среднего значения \bar{x} не должен превышать $x_{\max} = \bar{x} \pm 3\sigma$. Для статических лабораторных опытов, в которых не изменяются масса и энергия веществ, подобная методика оценки ошибок измерений приемлема. Для нативных экосистем и их компонентов, где непрерывно изменяется масса и энергия веществ, рассматриваемый подход некорректен из-за неоднородности выборки. Проиллюстрируем это на примере изучения выноса ВОВ из гор. A_0 – лесной экосистемы. Вследствие заметной дифференциации в пространстве и времени запасов лесной подстилки вынос ВОВ существенно различается в разных точках пространства. Реальные значения выноса, полученные методом сорбционных лизиметров, например, для биогеоценоза подзоны южной тайги составляют: 48; 32; 71; 29 и 80 г/м². Тогда $\bar{x} = 52$ г/м²·год⁻¹, а среднеквадратичное отклонение $\sigma = 22,9$ г/м²·год⁻¹. Полная запись величины выноса ВОВ из гор. A_0 составит $x = \bar{x} \pm \sigma = 52 \pm 22,9$ г/м²·год⁻¹. С математической точки зрения для статических систем значения 80 и 71 нужно признать как грубые промахи. С экологической позиции любые величины интересны и требуют индивидуального осмысления. И значения 80 и 71 г/м²·год⁻¹, это вполне очевидно, следует оставить, поскольку они отражают генетические черты функционирования фитоценозов. Более рационально вынос ВОВ в данной точке пространства следует представить в виде:

$$x = (m_{\max} - m_{\min}): \bar{x} = (80 - 29): 52 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1} \quad (16)$$

Экспериментальные данные следует оценить по уровню их достоверности. Проиллюстрируем это примером.

Допустим, в 1-м варианте полевого опыта масштаб выноса $C_{\text{орг}}$ ВОВ из гор. A_0 в еловом лесу Подмосковья составил $m_1 = 20(\bar{x}) \pm 0,5(\sigma)$; во втором – $m_2 =$

23±0,6. Прирост масштаба⁵ миграции равен 15%. Он относительно мал и его следует уточнить на основе достоверности по условию $\bar{x}/\sigma \geq 3$. В данном случае проверяется значимость разницы величин $m_1 - m_2 = 3$. Ошибка (средняя) полевого измерения выноса ВОВ

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,6^2} = 0,78 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1} \quad (17)$$

Поэтому $(m_1 - m_2)/\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = 3,0/0,78 = 3,85 > 3$. Следовательно, выявленный прирост масштаба выноса $C_{\text{орг}}$ ВОВ в близлежащем слое A_0 однородного фитоценоза является достоверным. Исследования показывают, что природная дисперсия величин выноса ВОВ на порядок и более выше, чем аналитическая. Это и понятно: в динамичных природных системах измеряемая величина непрерывно флуктуирует. Отмеченные особенности и следует учесть при математической обработке результатов почвенно-экологических опытов.

Известно, что результаты любых изменений и погрешности или ошибки измерений являются всего лишь приближенными числами, а последние цифры в них недостоверны. Если величина ошибки приближенного числа не приводится (нет записи, например, 24,5±0,9), то следует считать, что абсолютная ошибка данного числа равна 1/2 единицы последней значащей цифры. Однако реальные ошибки больше вышеуказанной ошибки. Рассчитанная ошибка опыта (абсолютная, средняя квадратичная и т.д.) непосредственно указывает, какие знаки в среднем измерении признака \bar{x} являются недостоверными. Ошибка изучаемого признака при этом не должна содержать более двух значащих цифр. Правильные записи измерений: 12430±120; 1243±12; 124,3±1,2; 12,4±0,1; 1,24±0,01. Эти положения обязательно нужно учесть на этапе оформления и обобщения экспериментальных данных. Окончательные результаты экологических опытов должны отвечать трем статистическим требованиям: 1) эффективности оценок, т.е. минимальности аналитической дисперсии отклонения средней \bar{x} относительно неизвестного параметра (помня при этом, что дисперсия признака может быть и аналитической, и природной); 2) состоятельности оценок, т.е. при увеличении числа наблюдений оценка среднего изучаемого параметра \bar{x} должна стремиться к его истинному значению; 3) несмещенности ошибок – отсутствию систематических ошибок в аналитической работе.

При подготовке плана-программы опытов необходимо стремиться к его упрощению и наглядности без потери точности и достоверности. Например, на экологических стационарах следует планировать отбор только индивидуальных, а не смешанных образцов почвы; при закладке лизиметров не следует искать (выкапывать) так называемый «типичный разрез»: в

⁵ Для однородной выборки; например для расчета природной и аналитической дисперсии признака в индивидуальном (не смешанном образце) в вертикальной или горизонтальной координатах почвенного покрова.

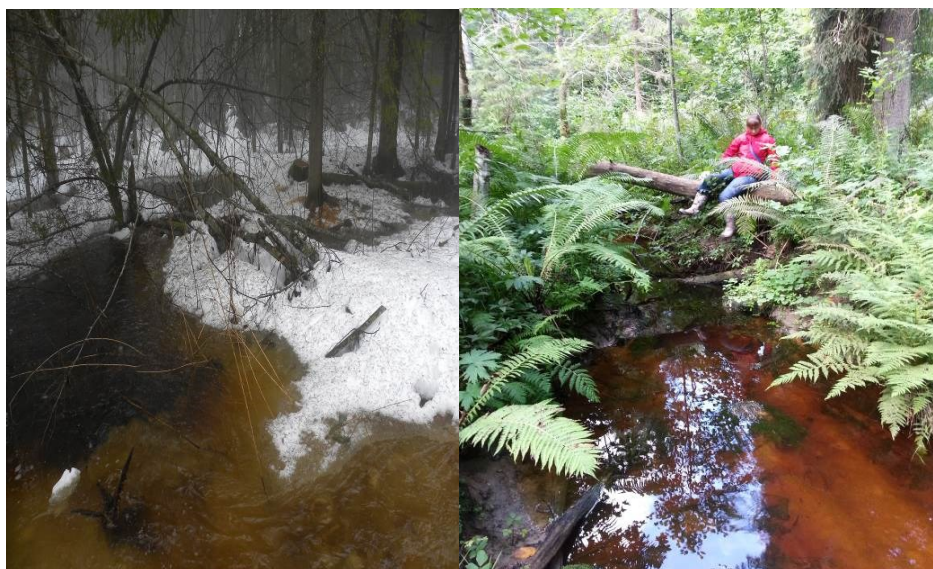
экосистемах их нет, поскольку в пределах любой почвенной структуры ландшафта каждый элементарный почвенный ареал и разрез является типичным. Отсюда и вытекает необходимость как почвенно-экологического (детального) картографирования $M = 1:500$, так и закладки ландшафтной катены, а также экологического профиля и системного изучения почв во взаимосвязи с другими компонентами ландшафта.

Важно помнить и о контроле размерностей изучаемых величин, который сводится к тому, что приравняться и складываться могут только величины одинаковой размерности. Степень точности вычислений должна соответствовать степени точности исходных (добытых в эксперименте) фактических данных, сообразуясь с точностью использованного метода анализа. *Одни методы точны, но очень трудоемки и дорогостоящи. Другие обеспечивают высокую производительность, но обладают меньшей точностью. Для определения какого-либо элемента любым методом используют разные варианты методик, обладающие различной точностью.* Это связано с неодинаковой степенью учета факторов, влияющих на конечный результат анализа. Например, в фотоэлектроколориметрии, полярографии точность метода зависит от того, термостатируются анализируемые растворы или нет; определяются концентрации по методу добавок или по градуировочному графику. Именно в связи с этим каждый метод охватывает не один, а несколько классов аналитической точности.

Для обеспечения метрологического единства определения низких концентраций химических элементов ($<10^{-4}$ %) в компонентах ландшафтов создана Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ). По мнению А.Б. Шаевича (1981), эффективная система контроля правильности результатов аналитических работ пока еще не разработана. В то же время метрологическое обеспечение аналитических работ проводится по 3 направлениям: 1 – аттестация и стандартизация методик анализа (на уровне федерации, ведомств и учреждений); 2 – формирование банка стандартных образцов и базы данных; 3 – контроль точности аналитических работ и исследований (Яшин И.М. и др., 2000).

5.2. Критерии, расчетные индексы загрязнения поверхностных вод и показатели оценки их экологической безопасности

Традиционный подход к нормированию в экосистемах (включая и водные) загрязнителей основывается на *ретроспективном анализе* (см. «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах» И.М. Яшин, 2000. С. 202).



А

В

Рис. 27. При таянии снегового покрова (А - 16.04.2012) в лесных ландшафтах ЦЛГПБЗ компоненты ВОВ и Fe-органические комплексы (придающие ярко бурый цвет ручьям) мигрируют повсеместно; на верховодку (под кронами деревьев и в межкروновых пространствах) влияют латеральная миграция, поверхностный сток. Летом (В - 20.07.2013) вода ручьев и мелких речушек, имеет также ярко бурый цвет; в поверхностные воды попадают наиболее активные геохимические мигранты - Fe, Al, Si и ВОВ таежных экосистем ЦЛГПБЗ: оглеенные барьеры миграции слабо сорбируют эти соединения.

Отсюда и виды норм: статистическая, эмпирическая, теоретическая и экспертная. Так, *статистическая норма* в качестве критериев состояний экосистем «хорошо», «плохо» предлагает оценку «часто», «редко»...

Эмпирическая норма используется на практике, когда состояние одной из изучаемых экосистем определяется как «контрольное».

Теоретическая норма загрязнителей используется при оценке механизмов взаимодействий ксенобиотиков с компонентами ландшафтов, исходя из общенаучных представлений.

Экспертная норма обычно минимизирует иллюзии относительно химического загрязнения ландшафтов. Часто ведомствам выгодно скрашивать негативное воздействие на биоту экотоксикантов, и существенно снижать их концентрации в почве, кормах и продуктах питания. Иначе будут большие экономические издержки.

Так или иначе загрязнение почв, вод и ландшафтов зависит от химического состава почв, горных пород. Следовательно, загрязнение имеет комплексный характер: антропогенный и естественный. Важную лепту в загрязнение вносят вулканы, цунами и землетрясения.

При экологическом нормировании учитывается *устойчивое и безопасное* развитие биосферы и водных источников.

Круговорот воды в ландшафтах играет важную информационно-энергетическую роль. Вода находится в природе в 3-х агрегатных состояниях: жидком, твердом и газообразном. Переходя из одного состояния в другое – вода заряжается энергией и очищается. При контакте

Эти процессы связаны с загрязнением и деградацией экосистем. На основе интегрированной оценки ландшафта и его основных компонентов – биоты,

почв и почвообразующих пород, атмосферы и природных вод можно установить лимитирующие экологические факторы. Качество природных вод тесно связано с загрязнением почв и соотношением в ландшафтах площадей пашни, лугов, лесов и болот. Пашня не должна превышать 8 – 12% общей площади.

Наиболее объективно экологическая безопасность природных вод оценивается с помощью *биогеохимического мониторинга*, как составная часть экологического нормирования. Он строится на основе иерархии и уровней структурной организации веществ в ландшафтах. При этом используются различные методы экологических и географических исследований. Выделяют соподчиненные структуры ландшафтов: элементарный биогеохимический ландшафт – почвенно-геохимическая катена – биогеохимический район – биогеохимическая провинция – биогеохимический субрегион и регион. Этот подход характерен и для природных вод.

Проведению мониторинга акваторий предшествует создание концептуально-информационной базы данных о конкретных ландшафтах. Важно отметить направленность основных процессов почвообразования и антропогенеза, определяющих трансформацию и миграцию ксенобиотиков. Фактические результаты экологического нормирования используются при проведении *экологической экспертизы* (на различных стадиях проектных, строительных и эксплуатационных работ), а также экспертизы состояния природных объектов – ландшафтов, например, где будут размещены специальные площадки для складирования твердых бытовых отходов (ТБО) и городского мусора. При длительных атмосферных осадках из отходов вымываются токсиканты и устремляются в водные источники. Здесь уместно размещать в *почвенных профилях сорбционные лизиметры* для изучения водной миграции ксенобиотиков и аккумуляции на почвенно-геохимических барьерах. Интересно знать также состояние самих барьеров миграции, активно деградирующих под воздействием кислот различного генезиса.

При биогеохимическом подходе изменяется понятие *«экологического риска»*, поскольку меняется сама парадигма «контроль» на парадигму «предупреждение». *Парадигма «контроль» при экологической экспертизе* обозначает обязательное применение гигиенических нормативов – ПДК, ПДУ, ОДВ... для ограничения поступления в ландшафты химических загрязнителей. А парадигма «предупреждение» снижает до минимума саму вероятность возникновения ксенобиотиков при промышленном и аграрном производствах. Таким образом, начинает действовать известный принцип управления. Он направлен на сохранение здоровья популяции человека и биоты путем резкого улучшения качества биосферы и ее компонентов – воздуха, природных вод, почвенного покрова, продуктов питания.

Экологическое картирование водных экосистем и нормирование нагрузок, проводимое на биогеохимической основе, предусматривает наличие эффективного информационного обеспечения. Им являются геоинформационные системы (ГИС) и соответствующие компьютерные

программы. С их помощью обобщается и анализируется огромная эколого-геохимическая информация как об антропогенных нагрузках, экологическом состоянии водных экосистем океана, морей, рек, так и о структуре ландшафтов, а также о миграционных потоках загрязнителей в геохимически сопряженных ландшафтах. *Это наглядно видно на примере мелководий Азовского и Черного морей, сильно загрязненных патогенной микрофлорой и токсикантами. Радикальные меры и мониторинг здесь пока не реализуются.*

- ☐ Алексеев В.А. ☐ Алексеев Л.П. Геохимические барьеры. Учебное пособие. М.: Логос. 2004. 200 с.
- ☐ Карпин А.И. ☐ Яшин И.М. ☐ Чариков В.А. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов. Известия ТСХА. 2004. Вып. 3. С. 10-14.
- ☐ Сборник трудов «Фундаментальные процессы и пространственно-временная организация почв» под ред. В.Н. Кузнецова. М.: Наука. 2004. 200 с.
- ☐ Яшин И.М. ☐ Цифр Л.Л. ☐ Ракатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. Учебное пособие. М.: ТСХА. 2004. 200 с.
- ☐ Яшин И.М. Большая миграция веществ в глетчаровых почвах северной тайги. Известия ТСХА. 2004. Вып. 3. С. 10-14.

1. Шишов Л.Л., Кауричев И.С., Большаков В.А., Муромцев Н.А., Яшин И.М., Орлова Л.П. Лизиметры в почвенных исследованиях. М.: РАСХН, Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева. 1998. – 264 с.
2. Ярков С.П. Образование подзолистых почв. М. 1954. – 82 с.
3. Яшин И.М., Карпачевский Л.О. Экогеохимия ландшафтов. М.: МСХА. 2010.- 224 с.
4. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Буринова Б.В. Исследование барьеров миграции в почвах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2010. Вып. 3. – С. 9 – 23.

5. Яшин И.М., Черников В.А., Карпухин А.И., Пельтцер А.С. Влияние железо-фульватных комплексов на поступление фосфора в проростки кукурузы // Известия ТСХА. 1990. Вып. 1. – С. 57 – 68.
6. Яшин И.М., Карпухин А.И., Платонов И.Г., Черников В.А. Статика сорбции водных растворов фульвокислот доломитизированным известняком // Известия ТСХА. 1991. Вып. 4. – С. 17 – 31.
7. Яшин И.М., Мухин Е.В., Карпухин А.И. Эколого-геохимическая характеристика почв лесных и лесопарковых ландшафтов низовья р. Сев. Двины // Известия ТСХА. 2004. Вып. 4. – С. 19 – 37.
8. Bloomfield C. A study of podsolization. Part 1. – J. Soil Sci., 1953b, v. 4, p. 5-16.
9. Dudal R. Etude morphologique et genetique //Agriculture, Louvain, 1953. Oct. P. 15 – 31.
10. Duchaufour Ph. Lessivage et podsolization // Rev. Forest. Franc. 1951. № 10. P. 31 – 43.
11. Kubiena W.L. Zur Micromorphologie, Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lossboden, Eiszeitalter und Gegenwart. 1956. Bd. 7. S. 27 – 29.
12. Muckenhausen E. Wasserhaushalt der Pseudogley und dessen Bedeutung fur die Pflanzen. Verhandl. II und IV Komiss. Int. Bodenk. Ges. 1958. Bd. 2.

Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах
 М.: РГАУ-МСХА, 2004. 108 с.

Яшин И.М., Карпухин А.И. Экогеохимия ландшафтов // М.: РГАУ-МСХА, 2004. 108 с.

Яшин И.М., Кашин В.С. Миграция водорастворимых органических веществ в супесчаных глееподзолистых почвах Севера европейской части СССР // Известия ТСХА, 1990. Вып. 4. С. 17-31.

Яшин И.М., Мухин Е.В., Карпухин А.И. Эколого-геохимическая характеристика почв лесных и лесопарковых ландшафтов низовья р. Сев. Двины // Известия ТСХА, 2004. Вып. 4. С. 19-37.

Яшин И.М., Сердюкова А.В., Петухова А.А., Грачев Д.А. Изучение миграционных потоков тяжелых металлов для диагностики загрязнения тяжелых экосистем // Известия ТСХА, 2004. Вып. 4. С. 17-31.

Яшин И.М., Кашинский А.Д., Петухова А.А., Когут Л.П. Ландшафтно-геохимическая диагностика почв Европейского Севера России // Монография // М.: РГАУ-МСХА, 2004. 108 с.

Вопросы для самоконтроля:

1. С чем связана географическая зональность почв в ландшафтах Европейского Севера России?
2. Назовите 10 основных типов почв в ландшафтах Европейского Севера?
3. Назовите 10 типов почв в ландшафтах южной тайги Ярославской области?
4. Назовите 10 типов почв в ландшафтах лесостепной зоны России.
5. Назовите процессы почвообразования, ответственные за формирование черноземов и подзолистых почв.
6. Чем отличается лессиваж от кислотного гидролиза почвенных минералов? Что такое подзолообразование?
7. Почему в подзолистых почвах и подзолах под лесной подстилкой не формируются гумусово-аккумулятивные горизонты?
8. Почему в подзолах и подзолистых почвах отмечается устойчивая сильноокислая реакция среды?
9. Какие почвы развиты в долинах рек Европейского Севера РФ?
10. Объясните термин «двучленные отложения» и «морена».
11. Где в ландшафтах тайги залегают подзолы и подзолистые суглинистые почвы? Как обнаружить геохимическую взаимосвязь в ландшафтах?
12. Какие мероприятия охватывает понятие «окультуривание» почв подзолистого типа? Для чего проводится известкование почв?
13. Какие геохимические параметры характеризуют водную миграцию веществ в профилях почв?
14. Какую роль в миграции загрязнителей играют сорбционные барьеры миграции? С помощью каких методов изучают данные барьеры?
15. Какая взаимосвязь существует между функционированием барьеров миграции и экологической безопасностью природных вод?
16. В какой географической зоне РФ распространены черноземы?
17. Почва является самостоятельным объектом исследования или это важнейший компонент экосистемы?
18. Перечислите фациальные экологические функции почв.
19. Кратко охарактеризуйте взаимосвязь процессов фотосинтеза и гумусообразования в экосистеме.

5.3. Эколого-геохимическая оценка химического загрязнения почв

Сначала несколько слов об источниках загрязнения.

В крупных городах мусоросжигательные заводы и ЦБК являются источниками ртути, диоксинов и бенз[а]пирена. Важную роль в этих процессах играют аэральные выпадения «кислотных дождей», сажи, пыли, которые можно выявить при снеговой съемке или с помощью методов биоиндикации поврежденных растений, лишайников, мхов и почвенных

живых организмов. Антропогенные выпадения в экосистемах тайги способствуют загрязнению ягод и грибов, используемых людьми в пищу, а растений - для народной медицины.

Источниками ТМ являются вещества техногенного генезиса и природного происхождения (например, горизонты почв, пород...). Их аддитивное действие заметно интенсифицирует болезни и исчезновение многих видов растений, животных в ландшафтах. Как следствие, патогенные микроорганизмы получают более быстрый доступ к человеческой популяции, минуя биологические барьеры вымерших живых организмов. В этой связи экологическую ситуацию нужно научиться оценивать более полно - на экосистемном уровне.

В настоящее время для характеристики загрязнения, например, почвенного покрова применяется индекс загрязнения $J_{зп}$ (по Ю. Саету, 1984):

$$J_{зп} = \sum k_n - (n-1) \quad (6)$$

$J_{зп}$ – индекс суммарного загрязнения **почвы**, например, тяжелыми металлами; это безразмерный параметр,

k_n – коэффициент накопления ТМ в гумусово-аккумулятивном горизонте почвы, который рассчитывается на основе фактических данных: $k_n = m_{ТМ}$ в загр. почве / $m_{ТМ}$ в фоновой почве, иначе этот коэффициент называется коэффициентом технофильности по Глазовской М.А.

(n-1) – эмпирический параметр; здесь n - число изучаемых ТМ.

На основе выражения **(6)** авторами была составлена оценочная шкала загрязнения почв: **0-32 – гор. А1 почвы** не загрязнен 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 загрязняться и опасны для людей и животных); наблюдаются экологические эндемии,

Более 128 – загрязнение сильное (выращивание с.-х. культур запрещено, возделываются сидераты и многолетние травы с целью фиторемедиации почв). Геохимики считают, что при $J_{зп} > 100-200$ ландшафты имеют высокий и экологически опасный уровень загрязнения.

Выражение **(6)** является частным, поскольку при оценке загрязнения учитывается только один компонент экосистемы – почва, а некоторые потоки мигрантов в фациях оказываются не учтенными. На это обстоятельство мы и **ОБРАТИЛИ ВНИМАНИЕ.**

Причем, при эко-токсикологических изысканиях преобладает санитарно-гигиенический подход (соответственно и нормативы), которые не затрагивают почвенно-геохимическую трансформацию загрязнителей и продуктов почвообразования в ландшафтах.

Учитывая вышесказанное, нами предложено другое выражение (7), которое отражает количество ионов ТМ в основных компонентах экосистемы: почве, биоте, аэральных выпадах (по снеговой съемке) и их отчуждаемую массу за счет водной миграции и сорбции в почве. При этом вместо вычитаемого $(n-1)$ мы вводим другой параметр: $(1+ (n/n-1))$ - слагаемое. Отметим, что при диагностике загрязнения биоты рассчитывали индивидуальные коэффициенты биогенного накопления $k_{\text{бн}}$ загрязнителей - в растениях, растительном опаде, слоях лесной подстилки, древесной коре и корнях, которые суммируются и получается общий коэффициент биогенного накопления $k_{\text{бн}}$ конкретного вида экотоксикантов (например, ионов ТМ) в биоте.

В подзолах, развитых на двучленных породах, содержание химических загрязнителей определяется нами не в одном (верхнем) горизонте, как при агрохимических изысканиях, а во всем профиле мини подзола на двучленах (массы ВОВ и гидрозоль гидроксида Fe активно участвуют в биогеохимическом круговороте веществ и превращении экотоксикантов).

Нами сделана попытка интегральной оценки химического загрязнения экосистемы ЛОД с помощью индекса суммарного загрязнения на примере ТМ (или модуля нагрузки) компонентов экосистемы по выражению:

$$J_{\text{зз}} = \Sigma k_{\text{зб}} + (1+ (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{зп}} + (1+ (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{зс}} + (1+ (n/n-1)) - \Sigma_{\text{Ммиг}} + (1+ (n/n-1)) \quad (8),$$

где $J_{\text{зз}}$ – индекс суммарного загрязнения экосистемы (по количеству изученных ее компонентов – почв, растительности, вод, снега, водной миграции) и числу экотоксикантов; в нашем опыте - ТМ за конкретный период,

$\Sigma k_{\text{зб}} + (1+ (n/n-1))$ – суммарный коэффициент химического загрязнения биоты (растений, лесной подстилки, растительного опада и корней), например, ионами тяжелых металлов (ТМ) - Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} ; здесь $n = 4$; данный коэффициент определяли при оценке загрязнения опада, корней, подстилки... ТМ; все параметры выражали в одних единицах измерения и суммировали;

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

$\Sigma_{\text{зс}} + (1+(n/n-1))$ – химическое загрязнение снега аэральными выпадениями (проверка качества воздуха) в условно абиотический период; концентрацию экотоксикантов в талой воде следует умножить на массу воды (согласно запасам снега при снеговой съемке на 1 м^2), чтобы получить искомую массу загрязнителей на единице площади. Выделяли растворимые формы ТМ, прошедшие через плотный бумажный беззольный фильтр, и остающиеся на нем взвеси; для расчета $J_{\text{зс}}$ находят соотношение масс ТМ в загрязненной и фоновой массах снега,

$\Sigma_{\text{Ммиг}} + (1+(n/n-1))$ - масштаб водной миграции ионов ТМ с лизиметрическими водами в профиле мини подзола лесопарковой фации ЛОД за 1 год. Этот показатель отражает долю наиболее миграционно способных форм экотоксикантов. Для ионов ТМ – это органоминеральные комплексные и иные соединения. Возможен также их вынос в составе коллоидов переходных металлов и тонкодисперсной пыли под «защитой» компонентов ВОВ с кислотными свойствами. Данная форма миграции разработана еще неполно. Учитывали и коэффициент мобилизации $K_{\text{моб}}$ изучаемых ТМ в экосистеме из твердой фазы мелиорантов в растворимое состояние с помощью метода сорбционных лизиметров.

Наряду с водной миграцией веществ в насыщенных влагой подзолах важную роль⁶ играет диффузия. Этот процесс протекает круглый год в почвах и, в отличие от сорбции, приводит к рассеиванию ионов, молекул, радикалов из микрон локального сосредоточения веществ на сорбционных барьерах (в иллювиально-железистом, органогенном и особенно в контактно-глееватом горизонте - на границе смены пород) по всему их объему. Диффузия способствует также сегрегации ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} и молекул фульвокислот в конкреции с участием микроорганизмов, а также в примазки и кутаны, в которые могут стягиваться и ионы ТМ в условиях чередования периодов оглеения и иссушения профилей подзолов.

При изучении состава и свойств веществ почвенных растворов наряду с лизиметрами используются приёмы выделения жидкой фазы почв в лаборатории с помощью центрифугирования, замещения жидкостями с меньшим поверхностным натяжением (ПАВ, например, спиртами), инертными газами. Применяют также и водные вытяжки. Данный вопрос заслуживает внимания, прежде всего потому, что на современном этапе достигнута высокая точность анализов благодаря использованию инструментальных физико-химических методов. Однако это не означает, что результаты в модельных лабораторных опытах в полной мере достоверны, поскольку методология их постановки порой неадекватна натурным экосистемам.

Важно также знать взаимосвязи состава жидкой фазы почв с атмосферой. По М.А. Глазовской (1988) запылённость промышленных городов центра Русской равнины составляет **50-150 кг/км² в сутки**, а в фоновых лесных ландшафтах она в **5-10 раз меньше**. Тонкодисперсные частицы пыли способны поглощать аэрозоли, содержащие сильные минеральные кислоты (H_2SO_4 , HNO_3 ...), а также химические элементы с высокими Кларками – Fe, Mn, Zn, Cr и Cu. Более токсичные ТМ – **Cd, Pb, Hg, Sb, и As** обычно находятся в паро-газовой фазе аэрозолей, перемещаясь

⁶ Особенно в почвах, испытывающих устойчивое или временное сезонное переувлажнение. Данные о водной миграции веществ следует дополнять информацией об их диффузии [101].

на сотни километров от их источника. Загрязнение воздуха довольно эффективно диагностируется при оценке снегового покрова.

Ряд авторов считают, водная миграция ТМ в форме комплексных органоминеральных соединений достигает весьма небольших значений; в основном в профиле подзолистых почв протекает миграция тонкодисперсных частиц пыли под защитой ВОВ. По нашим данным, например, водная миграция Pb ($34,4 \text{ мг/м}^2$) в слое 0-20 см составляет 0,13% за 1 год от валового содержания этого элемента в верхнем горизонте почвы. Отмечена прогрессирующая аккумуляция Pb в фациях ЛОД (табл. 4).

При этом в подзолах на двучленах лесопарка Петрозаводска ТМ накапливаются в мощной оторфованной лесной подстилке, по западинам и на вырубках.

В дерново-подзолах ЛОД частицы пыли и сажи оседают на небольшой по мощности растительный опад. Весной, после таяния снега, загрязнители быстро попадают в верхний горизонт, обогащенный компонентами ВОВ и почвенными минералами.

Таблица

Динамика валового содержания ТМ в дерново-подзоле на двучленах ЛОД за 2008-2011 гг., мг/кг

Гор-т и глубина отбора образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Плакор холма, фация сосны: 1. Отбор образцов почвы 5 июля 2008*					
A _{1h} 3-13	0,27 ±0,07	5,1 ±0,7	34,4 ±12,1	17,4 ±3,4	0,26 ±0,09
E _{hg} 16-26	0,18 ±0,04	2,7 ±0,4	18,3 ±8,8	19,1 ±4,7	0,70 ±0,08
E _{gh} 39-42	0,11 ±0,03	0,15 ±0,02	9,4 ±2,5	8,3 ±3,2	1,17 ±0,13
B _{fg} 42-52	Не опр.	0,72 ±0,08	Не опр.	Не опр.	0,50 ±0,06
EL _g 53-59	Не опр.	0,44 ±0,06	Не опр.	Не опр.	0,86 ±0,15
B _{2g} 79-89	Не опр.	0,49 ±0,05	Не опр.	Не опр.	1,06 ±0,18
Плакор холма, фация сосны: 2. Отбор образцов почвы после схода снега 16.04.2009					
A _{1h} 2-11	0,20 ±0,09	24,8 ±8,7	30,5 ±10,1	11,3 ±3,9	Не опр.
Плакор холма, фация сосны: 3. Отбор образцов почвы 7 июля 2011					
A _{1h} 2-10	0,22 ±0,04	89,2 ±18,3	21,9 ±2,6	12,9 ±2,6	Не опр.

- Анализы выполнены дипломницей Наумовой Е.

Здесь и происходит сорбция ТМ, дальнейшая их трансформация и миграция при активном участии продуктов почвообразования – ВОВ и соединения Fe.

По эффекту воздействия на почвы и экосистемы токсичные химические элементы, содержащиеся в техногенных продуктах, могут быть дифференцированы на две группы:

- 1-я – биогеохимически активные соединения,
- 2-я – трофически активные.

Таблица

Форма и масштаб нисходящей миграции соединений Fe и ВОВ в дерново-подзоле на двучленах ЛОД. Экспозиция: 12.06. 2008 - 05.12. 2008 г.

Гор-т и	C _{орг} ВОВ, г/м ²		

глубина закладки колонок, см	Общий масштаб водной миграции (уголь и Al_2O_3)	в водо-ацетоново м элюате с угля	в аммиачно м элюате с угля	по сорбции Al_2O_3	% ионов Fe^{3+} , прочно связанных с ВОВ	Масштаб нисходящей миграции Fe-ВОВ, мг/м ²
A_o - 3	21,0 ±4,3	7,6 ±1,7	13,4 ±4,9	2,5 ±0,3	59,1 ±10,3	254 ±60,9
E_h - 14	6,6 ±2,9	2,1 ±0,9	4,5 ±1,7	1,0 ±0,2	65,2 ±8,4	116 ±23,5
V_{fg} - 39	11,2 ±7,1	4,9 ±2,2	6,3 ±2,4	0,3 ±0,1	67,7 ±14,1	263 ±51,7

- Колонки установлены дипломниками Наумовой Е., Ляминим И. и Заблудиним Г. В опытах выявлено, что частицы угля задерживают основную массу ВОВ.

Попадая в трофические цепи и живые организмы, они вызывают негативные изменения в биохимических реакциях.

Содержание токсичных химических элементов в ландшафтах нормируется путём сравнения трех экологических показателей:

- 1). Почвенно-геохимического фона,
- 2). Кларков литосферы (кор выветривания и почвообразующих пород) – общие и местные Кларки,
- 3). Предельно допустимых концентраций – ПДК (точнее их масс – И.Я., а концентрация только первый шаг при диагностике экотоксикантов в ландшафтах).

ПДК* затрагивает весьма высокий уровень организации веществ в ландшафтах. Действие же экотоксикантов и экологическое нормирование загрязнителей следует начинать с наиболее чутко реагирующих в экосистеме групп живых организмов – микроорганизмов, червей, лишайников... При таком подходе картина экологической опасности в экосистемах будет более четкой - без иллюзии благополучия.

Исходя из полученной нами информации, можно заключить, что в верхних горизонтах дерново-подзола на двучленах ЛОД миграция ионов свинца происходит главным образом в форме устойчивых органоминеральных соединений (61,9% от общего масштаба миграции), достигая 34,4 мг/м² за 1 год из слоя 0-12 см. Ионы Cd^{2+} мигрируют как в форме ионов (55,0 % от общего масштаба выноса), так и в форме кадмийорганических соединений; масштаб их миграции примерно на порядок меньше. Цинк наиболее активно мигрирует в форме катионов – простых и гидратированных.

Таблица

Содержание водорастворимых форм ТМ в снеговой воде ЛОД, мг/л (конец марта 2008 г.)

Номер образца	Cd^{2+}	Pb^{2+}	Zn^{2+}	Cu^{2+}
1	0,0034	0,0128	0,044	0,007
2	0,0019	0,0039	0,033	0,006

* Недостатки критерия ПДК связаны с отсутствием опытных данных для его расчета. ПДК не может быть одинаковым для разных почв и разных экосистем. Сама концентрация еще ничего не значит: нужно знать объем выпитой воды, объем почвы, массу съеденного грубого корма животным за интервал времени.

3	0,0029	0,0092	0,059	0,008
Среднее $\bar{x} \pm \sigma$	2,7	8,6	0,045	7,0

Движущими силами миграции ионов ТМ являются, в частности, мобильные (и 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.

Процессы внутрипочвенного перераспределения химических элементов изучены пока еще в общем виде и нуждаются в дальнейшем обосновании.

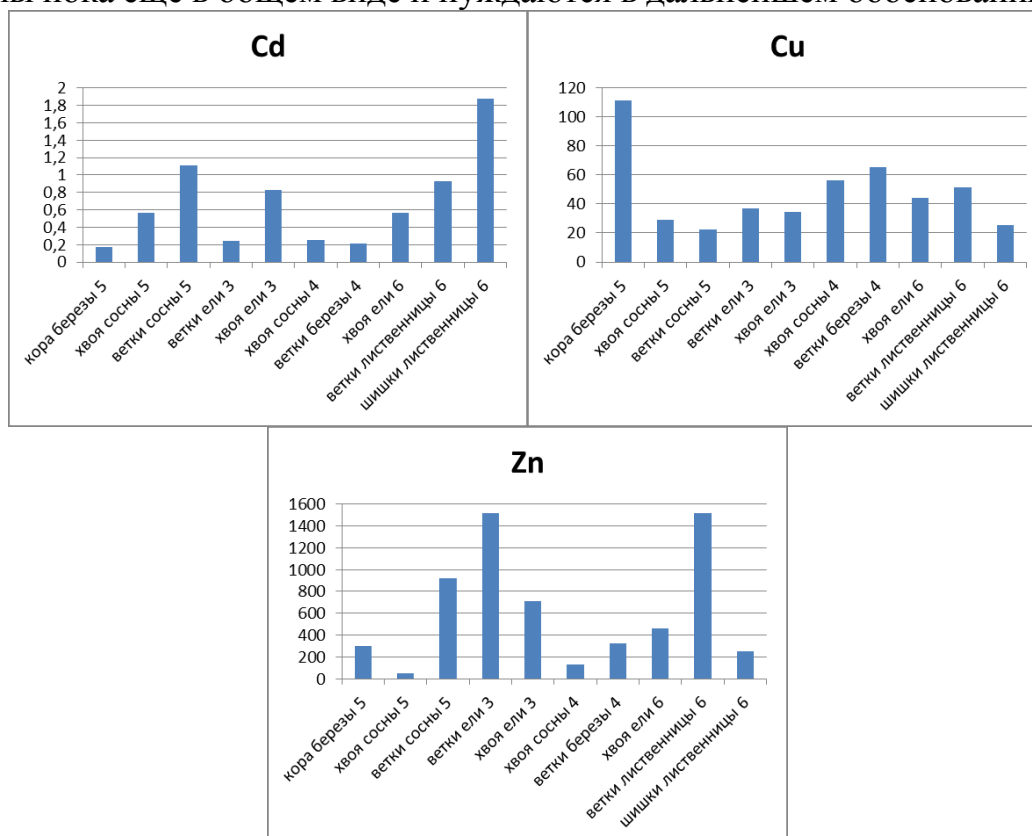


Рис. . Содержание ионов тяжелых металлов (мг/л) в водных вытяжках из вегетативных органов растений. Отбор проб в конце марта 2011 года.

Рассмотрим опытные данные по снеговой съемке ЛОД (загрязнение атмосферы зимой)

Таблица

Валовое содержание ТМ в частицах пыли талой воды ЛОД, осевших на плотном бумажном фильтре, мг/л (конец марта 2008).

Номер образца	Cd	Pb	Zn	Cu
1	0,013	0,511	2,325	0,949
2	0,023	0,496	14,00	2,103
3	0,026	0,853	4,79	1,64
Среднее $\bar{x} \pm \sigma$	0,021 $\pm 6,8 \cdot 10^{-3}$	0,504 $\pm 0,012$	7,04 $\pm 6,15$	1,56 $\pm 0,58$

Результаты диагностики загрязнения снежного покрова ЛОД приведены в табл. (в этой работе участвовала докторант А.В. Сердюкова).

Установлено, основная масса ТМ в 2008 году поступала из атмосферы с частицами пыли и осталась на плотном фильтре при аналитической диагностике. Так, содержание Си в пыли в 222,6 раза больше, чем в водорастворимой форме; Zn – в 156,4 раза; Pb – в 62,8 раза; Cd – в 7,8 раза.

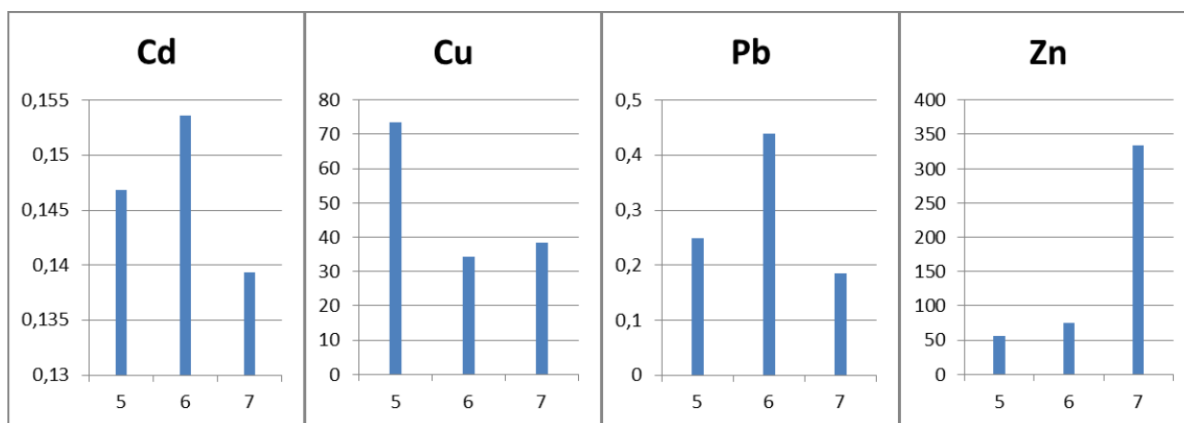


Рис. 2. Содержание ионов тяжелых металлов в снеговой воде после фильтрации через беззольный бумажный фильтр (стационарные участки 5, 6, 7 - вблизи автострადы).

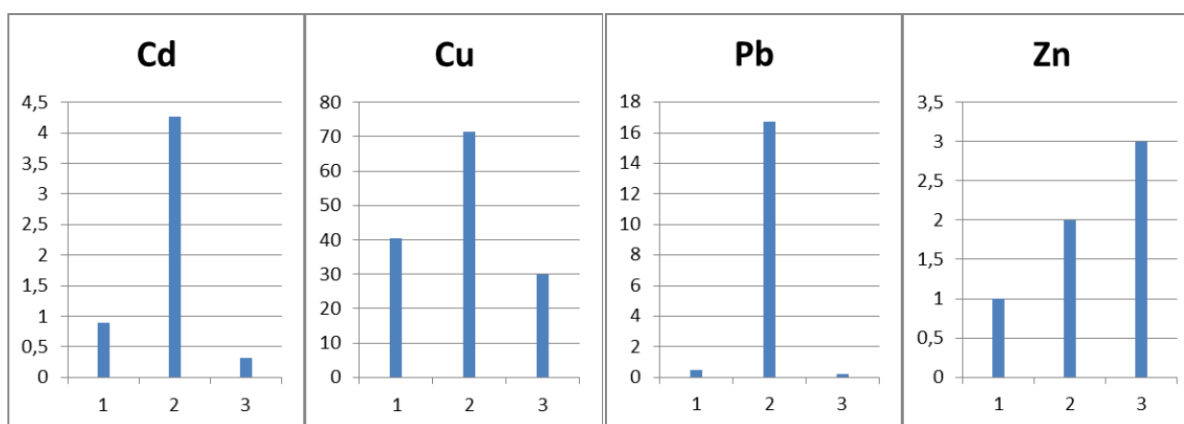


Рис. 3. Содержание ионов тяжелых металлов в снеговой воде после фильтрации через беззольный бумажный фильтр (стационарные участки 1, 2, 3 - в глубине ЛОД, низина).

Таблица

Содержание ионов свинца в вытяжках из гор. E_h почв и талой воде стационарных участков ЛОД (мг/кг). Отбор проб: конец марта 2011 года.

Номера стационарных участков	рН снеговой воды	Концентрация ионов Pb^{2+} в вытяжках из почв, мг/кг		
		талая вода	ацетатно-аммонийный буфер (рН 4.8)	водный раствор 1н. HNO_3
2	4,9	1,3	1,2	15,5
5	5,3	1,4	3,7	17,8
7	5,1	1,5	13,3	36,1

В 2011 году загрязнение снегового покрова ЛОД изучали вблизи автострადы и бензозаправки (точки 1, 5-7) и в глубине лесопарка (табл. 5-7).

Содержание водорастворимых форм, например, ионов Cd^{2+} возросло в сравнении с 2008 годом в 56,7 раза; Cu – более чем в 10^4 раз; Zn - в 7555 раз; и Pb – в 50 раз. Выявлено очаговое, но не сплошное загрязнение фаций и

почв. Подобные флуктуации обусловлены составом древостоя и рельефом территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Таблица

Масштаб нисходящей и восходящей водной миграции соединений Fe и ВОВ в подзолах контактно-глеевых в лесопарковом ландшафте Петрозаводска. Наблюдения: 2003 – 2004 гг.

Глубина установки колонок, см	Сорг ВОВ, г/м ² за 1 год		Fe, мг/м ² за 1 год	
	по сорбции КУ – 2 Н ⁺	по сорбции АВ – 17 ОН ⁻	по сорбции КУ – 2 Н ⁺	по сорбции АВ–17 ОН ⁻
Разрез 5п. Ландшафт транс-элювиальный. Вырубка (западника средняя часть склона увала).				
A ₀ ^{тп} - 7	8,7 ±3,4	8,6 ±2,0	260,5±63,8	322,4 ±91,3
E _{hg} - 12	7,4 ±1,6	14,4±3,8	142,5±71,5	183,8±75,2
V _{hg} – 36	2,1 ±0,7	3,8±1,7	74,2±29,1	121,8±59,3
V_{hg}(восх.) 36	6,6 ±1,5	8,1±2,2	305,1±94,7	394,9±123,7
Разрез 3п. Ландшафт транс-аккумулятивный. Вырубка на опушке леса - нижняя 1/3 склона .				
A ₀ ^{тп} - 5	10,8±2,7	11,6±2,7	327,5±131,8	614,9±204,3
E _{hg} 14(транс.) ¹	3,9±0,8	9,4±2,9	397,4±98,4	422,3±143,8
V _{hg} 40(транс.)	0,4±0,0	5,7±1,7	84,6±29,5	130,7±58,4

Анализируя предложенное нами выражение (8), отметим, что в настоящее время оно не может быть охарактеризовано в полной мере: недостаточно фактических данных. В то же время фактически рассчитанный индекс суммарного загрязнения J_{сз} лесопарковой фации ЛОД по двум компонентам – почве и биоте (лесной подстилке) – оказался равным более 250 единиц.

В водных вытяжках из растительного опада и вегетативных органов **растений** обнаружено очень высокие концентрации ионов ТМ. При этом в коре и ветках березы отмечены более низкие концентрации ионов ТМ в сравнении с аналогами хвойных пород деревьев. Эти факты позволяют констатировать, что растения активно поглощают антропогенные продукты, очищая атмосферный воздух. В дальнейшем растительный покров может выступать источником ТМ при выпадении атмосферных осадков, загрязняя почвы в подкороновых пространствах (рис. 1-3).

В фациях лесопарка Петрозаводска активно мигрируют комплексные органоминеральные соединения как с положительным, так и с отрицательным знаком заряда (табл. 8).

Более наглядно масштаб негативного воздействия ТМ на почвы ЛОД можно оценить с учетом запасов снега к концу марта - началу апреля. Если эту величину принять за 100 л/м², то в почву после таяния снега поступит следующее количество водорастворимых форм ТМ (мг/м²): Pb – 140; Zn - 152; Cd – 14,6; Cu - 4870 (рис. 2,3 - среднее по точкам 5-7). Сравнив масштаб нисходящей миграции, в частности, для ионов Pb²⁺ (34,4 мг/м²) с 140 мг/м², получим долю загрязнителя - ионов Pb²⁺ (24,6%), которая не сорбируясь, мигрирует в супесчаном дерново-подзоле ЛОД. В слое 0,2 м на S= 1 м² и массе почвы примерно 300 кг/м² содержится 26,76 г/м² валовой

Нами предложена новая шкала загрязнений экосистемы тайги по $J_{сз}$: 0-50 – не загрязненная; 60-150 – слабозагрязненная; 160-250 – среднезагрязненная; 260-350 – сильнозагрязненная; 360-450 – очень сильнозагрязненная; 460-500 – зона неблагоприятная для жизнедеятельности биоты.

Указанные положения изложены в научной статье: ж. Известия ТСХА. Вып.2. 2012. – С. 20-31. «Изучение миграционных потоков тяжелых металлов для диагностики загрязнения таежных экосистем».

Таким образом, профили с двучленным сложением обеспечивают разгрузку почвенного покрова лесных фаций и урочищ от избытка влаги.

Экологические риски в этих почвах в зоне тайги связаны, прежде всего, с состоянием лесов, лесопарков пустошей. При вырубке лесов наблюдается заболачивание, а подзолы и дерново-подзолы превращаются в болотно-подзолистые почвы. Лесовозобновление утрачивается. На вырубках в первые годы отмечается усиление масштаба водной миграции веществ и трансформация почвенных барьеров. Накопленные в почве мигранты попадают в грунтовые воды, загрязняя их.

ОБРАЗЦЫ РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПО КУРСУ МЕТОДЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В. Задача 1

Определите **градиент барьера миграции** соединений кадмия в почве таежной агроэкосистемы (в частности, в горизонте A_1), если известно, что масштаб миграции M ионов кадмия «на входе» гор. A_1 составляет $5,0 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$, а на «выходе» из гор. A_1 – $2,6 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$. При этом мощность горизонта A_1 L достигает 22 см.

Решение:

Градиент миграционного барьера равен соотношению разности величин мигрируемых масс ионов кадмия (на «входе» и «выходе» барьера) к мощности самого барьера, выраженного в метрах. Отсюда:

$$G = \frac{m_1 - m_2}{L} = \frac{5,0 \text{ мг/м}^2 - 2,6 \text{ мг/м}^2}{0,22 \text{ м}} = 10,9 \text{ мг/м}^3 \cdot \text{год}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$$

Ответ: $10,9 \text{ мг/м}^3 \cdot \text{год}^{-1} \text{ Cd}^{2+}$.

С. Задача 2

Исходя из величин Кларка и масштаба миграции, определите **какой химический элемент мигрирует** за 1 год **интенсивнее** в подзолистой почве таежного агроландшафта: железо или кремний? В частности, в горизонте **ELg** профиля. Известно, что масштаб миграции $m_{\text{миг}}$ для Fe^{3+} равен $326 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$, а кремния — $3108 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$; кларки n_x железа и кремния соответственно составляют 2,7% и 54%.

Решение:

Известно (по **И.С. Кауричеву, И.М.Яшину, 1996**), что коэффициент миграции $k_{\text{миг}} = m_{\text{миг}}/n_x$. Тогда для Fe^{3+} получим $k_{\text{миг}} = 326 \text{ мг} / 2700 \text{ мг} = 0,12$, а для кремния $k_{\text{миг}} = 3108 \text{ мг} / 54000 \text{ мг} = 0,06$.

Ответ: железо мигрирует в 2 раза активнее, чем кремний.

С. Задача 3

Исходя из величин $k_{\text{моб}}$, Кларка n_x Fe в почве (4,5%), a_x — сухого остатка в воде (0,25 г/л), **определите $k_{\text{миг}}$ железа** в таежном заболоченном ландшафте. Известно, что $k_{\text{моб}} \text{ Fe} = 0,005$ (в долях). Охарактеризуйте физический смысл коэффициента миграции $k_{\text{миг}}$.

Решение:

1. Находим концентрацию железа в растворе из соотношения: $k_{\text{моб}} = m_{\text{ж}} / m_{\text{тв}}$, тогда $0,05 = m_{\text{ж}} / 4,5$. Откуда $m_{\text{ж}} = k_{\text{моб}} \cdot m_{\text{тв}} = 0,005 \cdot 4,5 = 0,0225 \text{ г}$. Здесь проценты выражены через массовую долю — г / 100 г.

2. По формуле $k_{\text{миг}} = \frac{m_{\text{ж}} \cdot 100}{a_x \cdot n_x} = \frac{(0,0225 \cdot 100)}{0,25 \cdot 4,5} = 2$ ($k_{\text{миг}}$ низкий)

3. Если $k_{\text{миг}} < 1$ — миграция **весьма низкая**; до 10 — низкая; **от 10 до 50 — средняя**; от 50 до 100 — высокая; > 100 — очень высокая (Cl, Br).

Ответ: ~ 2.

С. Задача 4

Рассчитайте импульс миграции IM углерода ВОВ в гор. А₁ дерново-подзолистой почвы южно-таежного агроландшафта, если известно: а) масштаб миграции М «на входе» в горизонт А₁ — 36 г/м², а на «выходе» — 12 г/м²; б) время наблюдений t — 8,4 мес; в) мощность L гор. А₁ равна 22 см.

Решение:

Импульс миграции **Im** можно найти из произведения величин градиента барьера G и времени t. Градиент барьера находим по выражению: $G = (m_1 - m_2) / L = (36 - 12) \text{ г/м}^2 / 0,22 \text{ м} = 109,1 \text{ г/м}^3$. Найдя G, разделим его значение на время (**в частях**): $IM = G / t = 109,1 \text{ г/м}^3 / 0,7 = 155,9 \text{ г/м}^3$ за 0,7 года. Общая формула для расчёта IM такова: $IM = G / L \cdot t^{-1}$. Обратите внимание **на запись единицы времени** при расчете масштаба миграции: частное величин г/м² следует разделить **на время в частях**.

Ответ: 155,9 г/м³.

А. Задача 5

Какие методы могут быть использованы для выделения в естественных условиях 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 **обоснование** расчета $k_{\text{миг}}$.

Ответы:

1. Географические методы позволяют диагностировать и выделять в природе следующие элементы ландшафта: **фации, урочища и местности**. Решить эту задачу

можно с помощью ландшафтно-экологического картографирования при конкретном масштабе: для фаций М 1 : 200(500), для урочищ М 1: 10 000(1: 25 000), для местностей М 1: 300 000.

2. Для сопряжённых – каскадных элементарных геохимических ландшафтов.
3. Обоснование $k_{\text{миг}}$ проводится по формуле **А.И. Перельмана**:

$$k_{\text{миг}} = \frac{m \cdot 100}{a \cdot n}, \text{ где}$$

m – концентрация химического элемента в природном растворе (лизиметрических водах), г/л; a – сумма веществ, растворённых в воде, г/л; n – среднее валовое содержание элемента в генетических горизонтах (в почве, почвообразующей породе, коре выветривания...), %; 100 – переводной коэффициент. $k_{\text{миг}}$ имеет безразмерную величину.

Ниже приводятся **типичные** экологические задачи, которые предлагаются решить студентам-экологам на семинарах и практических занятиях по курсу МЭИ. Используется следующая маркировка уровней трудности решения:

А – самые простые задачи; В – более сложные и С – задачи повышенной сложности.

В. Задача 1

Определите величину **градиента барьера** миграции G соединений кадмия в таежной агроэкосистеме (в частности, в гор. А₁ почвы), если известно, что масштаб миграции М ионов кадмия «на входе» гор. А₁ составляет 5,0 мг/м²·год⁻¹, а на «выходе» из гор А₁ – 2,6 мг/м²·год⁻¹. При этом мощность горизонта А₁ 1 достигает 22 см.

В. Задача 2

Найдите коэффициент мобилизации $k_{\text{моб}}$ ионов свинца из доломитизированного известняка, внесенного в гор. А₁ дерново-подзолистой почвы южнотаежной агроэкосистемы, если известно, что в твердой фазе мелиоранта содержится 0,004% PbCO₃, а за 1 год (по данным метода сорбционных лизиметров) из мелиоранта мобилизуется 0,02 мг ионов Pb²⁺ в растворимое состояние.

С. Задача 3

Рассчитайте массу ионов свинца, мобилизуемую в раствор из доломитизированного известняка, если известно, что $k_{\text{моб}}$ равен 0,032 (в частях) за 1 год, а в мелиоранте содержится 37,5 мг/мг PbCO₃.

С. Задача 4

Исходя из величин Кларка и масштаба миграции, **определите**, какой химический элемент мигрирует за 1 год интенсивнее в таежном агроландшафте: железо или кремний? В частности, в профиле подзолистой почвы. Известно, что масштаб миграции $m_{\text{миг}} \text{Fe}^+ = 326 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$, а кремния – $3108 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$; Кларки n_x железа и кремния соответственно составляют 2,7% и 54%.

А. Задача 5

В уравнении материального баланса гумуса в гор. $A_{\text{пах}} \text{Оп} \cdot k_{\text{Г}} = \text{В} \cdot k_{\text{мин}}$ допустим, величина Оп (масса ежегодного опада растений) в агроэкосистеме существенно (в десятки раз) уменьшилась вследствие сжигания стерни и отчуждения послеуборочных остатков. Прокомментируйте, как будут изменяться величины В (запасы гумуса) и $k_{\text{Г}}$, если $k_{\text{Г}}$ – коэффициент гумификации много меньше $k_{\text{мин}}$ (коэффициент минерализации): соответственно 0,01 и 0,65.

А. Задача 6

Прокомментируйте уравнение материального баланса гумуса: $\text{Оп} \cdot k_{\text{Г}} = \text{В} \cdot k_{\text{мин}}$ при техногенном разрушении горизонта A_1 и уничтожении гумуса почвы в таежной зоне .

С. Задача 7

Рассчитайте **импульс миграции** $\text{ИМ } C_{\text{орг}}$ ВОВ в гор. A_1 дерново-подзолистой почвы южно-таёжного агроландшафта, если известно: а) масштаб миграции M на «входе в гор. A_1 – 36 г/м², а на «выходе» – 12 г/м²; б) время наблюдений t – 8,4 мес; в) мощность l в гор. A_1 равна 22 см.

С. Задача 8

Исходя из величин $k_{\text{моб}}$, Кларка $n_{\text{Х}}$ Fe в почве (4,5%), $a_{\text{Х}}$ – сухого остатка в воде (0,25 г/100 г), определите $k_{\text{миг}}$ железа в таежном заболоченном ландшафте. Известно, что $k_{\text{моб}}$ Fe = 0,005 (в долях). Охарактеризуйте $k_{\text{миг}}$.

С. Задача 9

Рассчитайте коэффициент миграции $k_{\text{миг}}$ для кремния и цинка в таежном ландшафте, если известны следующие параметры:

а) **для кремния:**

$m_{\text{Х}} - 1 \cdot 10^{-2}$ г/л (концентрация элемента в жидкой фазе),

$a_{\text{Х}} - 0,5$ г/л (сухой остаток),

$n_{\text{Х}} - 29,5\%$ (кларк элемента, или валовое содержание).

б) **для цинка:**

$m_{\text{Х}} - 5 \cdot 10^{-5}$ г/л,

$a_{\text{Х}} - 0,3$ г/л,

$n_{\text{Х}} - 8,3 \cdot 10^{-3} \%$.

2. Сделайте вывод, во сколько раз один химический элемент мигрирует активнее другого в ландшафте. Объясните формы их миграции.

Задачи для самостоятельного решения

А. Задача 10

Рассчитайте годовой масштаб вертикальной нисходящей миграции M ионов Pb^{2+} , если известно, что диагностированная масса ионов свинца (в лизиметре) составляет 43,7 мг, а рабочая поверхность сорбционного лизиметра – 66,4 см².

А. Задача 11

Какие методы могут быть использованы для выделения в естественных условиях 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?

В. Задача 12

Определите коэффициент обновления гумуса дерново-подзолистой почвы гор. А_{пах} агроэкосистемы подзоны южной тайги ($k_{обн}$), если известно, что масса гумуса в слое почвы 0–20 см на 1 м² составляет 1540 г, а масштаб мобилизации $C_{орг}$ ВОВ из растительных остатков 22,5 г/м²·год⁻¹.

А. Задача 13

За 1 год обновляется порядка 4% $C_{орг}$ – гумусовых веществ дерново-подзолистой почвы в подзоне южной тайги. За какой период времени произойдет полное обновление молекулярных структур гумусовых соединений почвы?

В. Задача 14

Постройте ландшафтно-экологический профиль (на схеме - произвольно) по линии: «водораздел – терраса – русло реки» и охарактеризуйте особенности структуры и функционирования элементарных геохимических ландшафтов в подзоне южной тайги.

1. **Бауэд Л., Вайничке Х.** Забота о ландшафте и охрана природы. Пер. с нем. И. В. Кенарской. — М.: Прогресс. 1971. 264 с
4. **Викторов А. С.** Рисунок ландшафта. М.: Мысль. 1986. 179 с.
8. **Дьяконов К. Н., Касимов Н. С., Тикунов В. С.** Современные методы географических исследований. М.: Просвещение. 1996.
11. **Исаченко А. Г.** Оптимизация природной среды: географический аспект. М. 1980. 342 с.
12. **Кауричев И. С., Яшин И. М., Черников В. А.** Эколого-биогеохимические закономерности гумусообразования в почвах таежных ландшафтов // Изв. ТСХА. 1997. Вып. 1. С. 63–82.
13. **Каштанов А. Н., Лыков А. М., Кауричев И. С.** Плодородие почвы в интенсивном земледелии: теоретические и методологические аспекты плодородия // Вестник с.-х. науки. 1983. № 13. С. 60–68.
14. **Кирюшин В. И.** Экологические основы земледелия. М.: Колос. 1996. 336 с.
15. **Крылова З. А.** Влияние агротехнических мероприятий на поверхностный сток в бассейне Дона. — В сб. Малые реки. Вопросы географии. — М.: Мысль. 1981. Вып. 118. С. 175–178.
19. **Моисеев Н. Н.** Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия. 1990. 352 с.
20. **Николаев В. А.** Концепция агроландшафта // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. географ. 1987. № 2. С. 22–27.
21. **Никитин Е. Д.** Учение о функциях почвы и экологическое земледелие // Почвоведение. 1990. № 9. С. 74–81.
23. **Перельман А. И.** Геохимия ландшафта. — М.: Высш. шк. 1975. 342 с.

26. Солнцев В. Н. Системная организация ландшафтов. М. 1981. 239 с.
27. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск. 1978. 319 с.
31. Черников В. А., Милащенко Н. З., Соколов О. А. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. Пушино. ОНТИ ПНЦ РАН. 2001. 203 с.
32. Яшин И. М. Рабочая тетрадь по ландшафтоведению. М.: МСХА. 2000. 44 с.
33. Яшин И. М., Шишов Л. Л., Раскатов В. А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. — М. МСХА. 2000. 560 с.
34. Яшин И. М., Аль-Аамри Мохсин. Особенности тропических аридных почв и ландшафтов провинции Дофар Омана // Известия ТСХА. 2001. Вып. 3. С. 77–93.
35. Яшин И. М., Раскатов В. А., Шишов Л.Л. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. — М.: МСХА. 2003. 316 с.

Вопросы для самоконтроля

1. Что означает термин «лизиметр»?
2. Назовите и охарактеризуйте основные типы лизиметров.
3. Перечислите основные функции лизиметров.
4. Охарактеризуйте конструкции лизиметров Вильямса, Баракова, Геммерлинга, Вельбеля, Ключарева, используемые при почвенно-агрохимических изысканиях.
5. В чем заключается принцип действия вакуумных и сорбционных лизиметров? Что такое пьезометр?
6. Для каких целей используют лизиметры-испарители ГГИ-500 и ГГИ-500-100?
7. Объясните принцип действия компенсационных лизиметров Конькова и Роде.
8. Что такое водобалансовые площадки и балансомеры?
9. Какие типы лизиметров используют для оценки бокового внутрипочвенного и поверхностного стоков воды и растворенных в ней веществ?
1. Кто автор метода сорбционных лизиметров? Назовите принцип действия сорбционных лизиметров; какие иды сорбентов наиболее широко применяются в почвенно-экологических стационарных исследованиях?
2. Нарисуйте схему тензиометра и объясните принцип его действия.
3. Каким методом учитывают суммарное испарение почвенной влаги (эвапотранспирацию)?
5. С помощью каких типов лизиметров изучают основные элементы водного баланса почв? Что такое зона аэрации почвы?
6. Необходимо изучить масштаб и формы миграции, допустим, ряда тяжелых металлов – Hg, Cd, Zn, Fe, Co – в элементарных геохимических ландшафтах тайги. Вопрос: какие типы лизиметров наиболее подходят для решения

данной задачи: а) насыпные, б) воронки, в) испарители, г) вакуумные, д) сорбционные, е) балансомеры, ж) Геммерлинга, з) Вильямса?

7. Какие почвенно-экологические ландшафтные условия определяют химический состав и свойства компонентов лизиметрических вод тайги, степей, тропиков?

8. Назовите основные химические компоненты, определяющие состав и свойства лизиметрических вод почв таежной зоны.

9. Объясните методологию подготовки и стадии аналитической диагностики веществ лизиметрических вод.

10. Охарактеризуйте комплекс методов, используемых для выделения групп веществ, различающихся по агрегатному состоянию и их формам: тонкодисперсные взвеси, коллоиды и ионно-молекулярные соединения.

11. Назовите методы концентрирования химических элементов, например, из лизиметрических вод.

12. Какие реагенты широко используются при экстракции, в частности тяжелых металлов, из почвенных растворов, лизиметрических и природных вод?

13. Объясните, какие методы физико-химического анализа необходимо использовать при изучении компонентного и молекулярно-массового состава водорастворимых органических веществ природных вод. Охарактеризуйте схемы анализа по Forsyth W. в модификации И.М. Яшина.

14. При фракционировании водорастворимых органических веществ методом колоночной адсорбционной хроматографии по схеме Forsyth W. используют активированный уголь. Объясните, какую марку угля (низко- или высокозольного) необходимо использовать, чтобы получить представление о соотношении масс веществ индивидуальной и специфической (ФС) природы?

15. Какие методы используются при исследовании форм миграции различных химических элементов в геохимически сопряженных (каскадных) ландшафтах?

16. На чем основан спектральный анализ?

17. Охарактеризуйте метод фотометрии пламени. Какие основные приемы работы используются в методе фотометрии пламени? Достоинства и недостатки этого метода.

18. В чем сущность метода градуировочного графика?

19. Какой свет рассеивается в наибольшей степени почвенными частицами, находящимися, допустим, в лизиметрических водах, во взвешенном состоянии: а) желтый, б) синий, в) зеленый и г) красный?

20. На чем основаны потенциометрические методы анализа?

21. Сущность метода хроматографии. Типы сорбентов. Аппаратура. Виды хроматографического анализа.

22. Как происходит хроматографическое разделение сложных природных веществ в сорбенте?

23. Что такое ландшафт? Назовите его таксономические единицы и методы картирования.

24. Что такое геохимический ландшафт? Кто из российских ученых предложил этот термин? С помощью каких методов исследуется геохимический ландшафт?
25. Что такое фация и урочище? Как и в каком масштабе они картируются?
26. Охарактеризуйте методы катен, профилирования и ключей?
27. Объясните метод экологических шкал.
28. Объясните метод градиентного анализа.
29. Сущность метода ретроспективного анализа.
30. Что такое бесплощадные методы оценки растительных континуумов?

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ (ГЛОССАРИЙ)

Абразия – разрушение берегов и дна рек под влиянием водных потоков.

Адаптация – совокупность морфофизиологических, поведенческих, популяционных и иных особенностей живых организмов, обеспечивающая им возможность жизни в экстремальных условиях внешней среды.

Адиабатические процессы – происходят при подъеме или опускании воздушных масс в атмосфере.

Азональность – географическая закономерность, определяющая наряду с зональностью формирование региональных ландшафтов.

Аллелопатия – форма биотических связей, выражающаяся во влиянии одних организмов на другие с помощью органических кислот.

Ареал – область распространения на земной поверхности тех или иных видов (родов, семейств) животных и растений.

Аридный климат – сухой климат при котором атмосферное увлажнение ландшафтов оказывается недостаточным для растений. Поэтому здесь произрастают биомы и ландшафты с пустынной и полупустынной растительностью.

Биогеоценоз – ПТК или биохора, соответствующая низшим таксонам классификации ландшафтов.

Биоиндикаторы – организмы, с помощью которых можно выявить неблагоприятные естественные (или антропогенные) процессы, или наличие определенных загрязнителей в воде или в почве.

Биоиндикация – оценка состояния среды или природных экосистем с помощью живых объектов, где живые объекты (или системы) – это клетки, организмы, популяции, сообщества.

Биологическая система (в широком смысле) – совокупность функционально связанных тканей, органов, их частей и процессов, объединенных в целое для достижения биологически значимого результата; биологический объект может одновременно выступать:

- как целостная биологическая система;
- как подсистема биологической системы более высокого уровня.

Биом – совокупность сообществ организмов (экосистем) какой-нибудь природной зоны: биом тундры, тайги.

Биосфера Земли – область активной жизни, охватывающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу, верхнюю часть литосферы, почвенный покров и биоту. В биосфере живые организмы (живое вещество) и места их обитания (ландшафты, экосистемы...) неразрывно связаны и активно взаимодействуют друг с другом миллионы лет. В результате образовалась неравновесная, но устойчивая и динамичная мегасистема. Термин «биосфера» введен в 1875 году немецким специалистом Э. Зюссом. Учение о биосфере, как об активной и своеобразной оболочке Земли, в которой роль живых организмов проявляется на уровне планетарного геохимического фактора, создано В.И. Вернадским (1924-1926гг.) в эмиграции: здесь он читал лекции в Сорбонском университете. Создавая учение о биосфере, В.И. Вернадский заложил основы учения о ноосфере – сфере разумной деятельности человеческой популяции на Земле. Однако почти все постулаты его концепции пока остаются невыполнимыми. Он прогнозировал экологическую катастрофу, если промышленная деятельность человечества не будет выполняться по определенным правилам. Пока негативные прогнозы В.И. Вернадского сбываются. Но биосфера может и сама «защищаться» от человеческой популяции.

Биота – совокупность видов организмов какой-нибудь крупной территории (например, биота тайги). Иными словами биота – это флора и фауна изучаемого ПТК.

Биотестирование – деятельность по изучению в лабораторных условиях влияния компонентов окружающей среды на биотесты.

Биотесты – стандартизованные биообъекты, по изменению состояния которых судят о свойствах того или иного компонента природной среды, в т.ч. влиянию на здоровье человека и функционирование экосистем.

Биогеохимический круговорот веществ в экосистеме – это совокупность биогенной и водной миграции веществ, которая обеспечивается тремя группами организмов: продуцентами (фотосинтезирующие организмы), консументами (организмы, потребляющие органические вещества), редуцентами (деструкторами сложных органических веществ, богатых энергией – микроорганизмы и простейшие животные).

Геоботаника – наука о растительном покрове Земли; большинство отечественных ученых включает в геоботанику фитоценологию и ботаническую географию; иногда синоним фитоценологии.

Гипергенез – физическое и химическое преобразование горных пород под воздействием экзогенных факторов.

Денудация – совокупность процессов сноса и перераспределения мелкозема (продуктов выветривания) по склонам под действием силы тяжести.

Дефляция – развевание мелких частиц пыли и песка (продуктов физического выветривания) в сухостепной, полупустынной и пустынной зонах земного шара.

Живое вещество – так В.И. Вернадский называл совокупность всех живых организмов и продуктов их жизнедеятельности.

Загрязнение экосистем – привнесение в ландшафты или возникновение в них новых, обычно не характерных для нее физических, химических, информационных и биологических компонентов в количестве, превышающем естественный среднесуточный уровень и нарушающем равновесие экосистем, их продуктивность и качество.

Импактное загрязнение (синоним **локальное загрязнение**) – загрязнение небольшого региона (обычно вокруг промышленного предприятия, населенного пункта, вдоль автотрасс).

Кислотные дожди - (кислые дожди), характеризуются повышенным содержанием анионов сильных минеральных кислот (в основном серной); величина рН достигает величин 3,2-4,5. Образуются при взаимодействии атмосферной влаги с транспортно-промышленными выбросами (главным образом оксидов серы, а также азота и галогенов). Вредно действуют на здоровье людей, растительный и животный мир, строительные сооружения и железобетонные конструкции; подкисляют почвы и водоемы. Распространены в промышленных районах США, стран Западной Европы, России и др. Кислотные осадки могут накапливаться в твердых атмосферных осадках (снег, град, изморозь).

Космополиты – виды (роды, семейства) растений и животных, обитающие по всему (или почти по всему) земному шару; космополитами являются, например, злаки, воробьиные птицы; космополитов противопоставляют эндемикам.

Консорция – совокупность разных организмов, выступающих как единое целое. Организмы связаны между собой и зависят от центрального члена. Например, на зрелом дереве сосны (центр консорции) обитают мхи, лишайники, муравьи, птицы, короеды...

Ксенобиотики – чужеродные для организмов и биосферы соединения (промышленные загрязнения, пестициды, препараты бытовой химии, лекарственные средства...); попадая в окружающую среду в значительных количествах, могут воздействовать на генетический аппарат организмов, вызывать их гибель, нарушать равновесие природных процессов в биосфере. Эти вещества не характерны для биогеохимического круговорота веществ.

Ландшафт – это реальный природно-территориальный комплекс (ПТК). Каждый ландшафт можно изучать на разных уровнях структурной организации веществ: ионно-молекулярном, организменном, фациальном, региональном и глобальном.

Ландшафтные карты – отражают (в зависимости от масштаба съемки) типологические категории ПТК.

Мониторинг – наблюдение за состоянием окружающей среды (атмосферы, гидросферы, почвенно-растительного покрова, а также

техногенных систем) с целью ее контроля, управления, прогноза и охраны; различают глобальный, региональный и локальный уровни мониторинга. Методы мониторинга изложены в курсе «Методы экологических исследований», И.М. Яшин с соавт., 2000.

Ноосфера – «сфера разума» - гипотетическая стадия развития биосферы Земли.

Окружающая среда (природная среда, окружающая природная среда) – внешняя часть условий любой среды по отношению к биосистемам, экосистемам, человеческому обществу и его хозяйственной деятельности; природная среда есть совокупность природных и незначительно измененных человеком условий окружающей среды. Термин заимствован из английской литературы. Он используется в разговорной форме и не несет географической нагрузки: таксономически не обоснован. Лучше применять термин «ландшафт».

Опустынивание ландшафтов – явление, при котором резко ухудшается качество и функционирование компонентов ландшафтов: почв, биоты..., резко уменьшается продуктивность и качество продукции экосистем.

Парагенетические комплексы – сопряженный ряд ПТК. Удобен для оценки взаимосвязи в элементарных геохимических ландшафтах.

Парадигма – общепринятая теория.

Парниковый эффект – разогрев приземного слоя атмосферы Земли, вызванный поглощением длинноволнового (теплового) излучения газами атмосферы, идущего от земной поверхности.

Парцелла – структурная часть горизонтального расчленения фитоценоза (или биогеоценоза), охватывающая всю его толщу и выделяемая по плотности видов растений, животных и особенностям микросреды обитания.

Пирамида экологическая – графическое изображение соотношения между продуцентами и консументами разных порядков, выраженное в единицах биомассы веществ (пирамида биомасс), числа организмов (пирамида чисел), или их энергии (пирамида энергии). При переходе с одного уровня на другой теряется порядка 10% веществ и энергии.

Поллютант – загрязнитель – вещество, загрязняющее окружающую среду (антропогенное загрязнение).

Популяция – совокупность особей одного вида, длительно занимающая определенное пространство и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений.

Предельно допустимая концентрация вещества в окружающей среде (ПДК) - максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение длительного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме человека; является *гигиеническим критерием* при оценке санитарного состояния *атмосферного* воздуха, водоемов, продуктов питания

и т. д.); в Российской Федерации устанавливается для каждого вредного вещества. Для почв и ландшафтов ПДК пока не обоснованы и условны.

Предельно допустимый сброс (ПДС) – масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в установленном режиме в данном пункте в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.

Растения-концентраторы – растительные объекты, способные в процессе своего роста и развития к накоплению из окружающей их среды определенных химических элементов и их соединений.

Рудеральные виды - т.е. буквально «мусорные», травы типичны для свалок, пустырей, обочин дорог и аналогичных мест, обычно бурно зарастающих т.н. бурьяном.

Синузия – структурная часть фитоценоза, одноярусная группировка растений в пределах фитоценоза, сформированная в определенных экологических условиях, территориально компактная или разобщенная, с наличием взаимоотношений между компонентами или без них; *в лесах умеренного пояса* несколько синузий: ярусные (деревья, кустарники), кустарнички, травянистый покров, эпифитные (лишайники, мхи на деревьях), почвенные животные. Эти группы видов отличны в генезисе, но сходны по экологии и ритмам развития.

Сообщество – система совместно живущих в пределах некоторого естественного объема пространства автотрофных и гетеротрофных организмов.

Стенобионты – животные и растения, способные существовать лишь при относительно постоянных условиях окружающей среды (температуры, солености, влажности, наличия определенной пищи и т.д.); например, все внутренние паразиты; некоторые стенобионты зависят от какого-либо одного фактора, например, сумчатый медведь коала – от наличия эвкалипта, листьями которого он питается; противоположность – эврибионты.

Стенотопные организмы – растения и животные, живущие только в определенных местообитаниях, например, песчаная акация – только в пустынях.

Стресс – состояние напряжения организма – совокупность физиологических реакций, возникающих в живом организме в ответ на воздействие различных исключительно благоприятных или неблагоприятных факторов; также состояние экосистемы, испытывающей напряжение вследствие действия повреждающих факторов, нарушающих ее вещественно-энергетический баланс.

Сукцессия – последовательная смена одних сообществ другими.

Суффозия – проседание грунта.

Таллом – (гр. Таллос – ветвь), слоевище – вегетативное тело водорослей, слизевиков, грибов, лишайников, некоторых моховидных. Не имеет расчленения на органы (стебель, лист, корень) и настоящих (дифференцированных) тканей.

Тест-объекты – стандартизированные объекты, которые подвергаются пробным воздействиям, по результатам их выполнения судят о каких-либо явлениях, для которых установлены данные тесты.

Тест-организмы (см. биотесты).

Токсиканты – ядовитые вещества.

Токсикологическая оценка – совокупность испытаний, позволяющая установить с помощью определенных критериев, принятых в токсикологии, степень опасности (или безопасность) для человека и других живых организмов исследуемого вещества.

Токсичность сред – наличие в элементах сред токсичных агентов в концентрациях, вредных для живых организмов.

Токсичность – способность некоторых химических соединений и веществ биологической природы оказывать вредное действие на организм человека, животных и растений.

Толерантность – способность организма переносить неблагоприятное влияние того или иного экологического фактора.

Тяжелые металлы – Тяжелые металлы - химические элементы с атомной массой свыше 50 а.е.м.: свинец, кадмий, ртуть, цинк, молибден, марганец, никель, олово, титан, кобальт, медь, ванадий и другие, содержащиеся в компонентах ландшафтов в химически активных формах.

Фактор экологический – причина, движущая сила какого-либо процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его черты, есть динамичная часть условий ландшафта.

Фитоиндикаторы – растительные объекты, по состоянию или количеству которых судят о свойствах окружающей среды.

Фитоиндикация – биоиндикация, использующая в качестве биообъектов растения.

Индикатор – физическое явление, химическое вещество или организм, наличие, количество или перемена состояния которого указывает на характер или изменение свойств окружающей их среды.

Фитотоксичность – свойство некоторых химических веществ нарушать нормальное течение физиологических процессов в растительных сообществах, а также свойство компонентов ландшафтов, содержащих эти экотоксиканты.

Шкала рН – отражает отрицательный десятичный логарифм концентрации ионов водорода. Оптимум рН лежит в интервале 6,5-7,2.

Эврибионты – организмы, способные переносить значительные изменения условий окружающей среды, например, морские звезды, обитающие в приливно-отливной зоне (литорали), переносят осушение во время отлива, сильное нагревание – летом, охлаждение (даже промерзание) – зимой. Противоположность – стенобионты.

Эвритопные организмы – растения и животные, живущие в местах с разнообразными условиями обитания; например, тростник обыкновенный – по берегам водоемов, в воде, на солонцах и солончаках, обыкновенный хорек – на полях, лугах, лесных полянах.

Экологическая ниша – совокупность всех факторов природной среды, в пределах которых возможно существование того или иного вида организмов; к таким факторам относится не только положение вида в пространстве (его местообитание), но также его взаимоотношения с другими видами (конкуренция за пищу, наличие врагов и т.п.).

Экологическая пластичность – степень (амплитуда) выносливости организма или сообщества к воздействию факторов среды.

Экологическая экспертиза – оценка воздействия на среду жизни, природные ресурсы и здоровье людей комплекса хозяйственных нововведений в масштабах избранного региона.

Экологические условия – совокупность прямых и обратных связей, включающие потоки вещества, энергии, информации, которыми биосистемы взаимодействуют друг с другом и абиотической средой, и которые определяют возможность выполнения данной биосистемой определенных функций на различных уровнях их организации.

Экологический гомеостаз – состояние внутреннего динамического равновесия природных систем, поддерживаемое регулярным возобновлением основных ее структур, вещественно-энергетического состава и постоянной саморегуляцией ее компонентов.

Экосистема – природный территориальный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания (атмосфера, почва, водоем и т.п.), в котором живые и косные компоненты связаны между собой обменом вещества и энергии; понятие экосистема применяется к природным объектам различной сложности и размеров: океан или небольшой пруд, тайга или участок березовой рощи; термин «экосистема» ввел английский ученый А. Тенсли (1930г.); нередко термины «экосистема» и «биогеоценоз» употребляют как синонимы, но это не так. Экосистема не картографируется (нет таксономического деления), но удобна при изучении трофических уровней (пищевых цепей).

Экотип – группа однородных популяций в пределах одного и того же вида, у которых в процессе приспособления к условиям местообитания выработались наследственно закрепленные морфологические, физиологические, биохимические и другие особенности; чем обширнее ареал вида и разнообразнее экологические условия, тем больше у него число экотипов (например, у сосны обыкновенной выделяют 36 экотипов).

Экотон – переходная зона между фациями, урочищами (термин из экологии).

Экотоп – термин близкий к биотопу. Он подчеркивает и внешние факторы среды.

Экстремальные условия – экологические условия, вызывающие у растений стресс и ставящие под угрозу само его существование, если растительные ассоциации не смогут вовремя адаптироваться на биохимическом и физиологическом уровнях. Подобная адаптация отражается на морфологии растений.

Сведения об авторе

Яшин Иван Михайлович – доктор биологических наук (1994), профессор кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с 1996 года.



В 1969 г. с отличием окончил ТСХА (факультет агрохимии и почвоведения). Продолжил очное обучение в аспирантуре на кафедре почвоведения у профессора И.С. Кауричева (в летние месяцы работал в Почвенно-геоботанической экспедиции – в Туве и в заповеднике «Кивач» Карелия). После защиты в 1974 г. кандидатской диссертации, по распределению Минсельхоза РФ, работал начальником отдела почвенно-агрохимических изысканий МОПИСХ, а с 1978 по 1986 гг. – в экспедиции при кафедре почвоведения ТСХА. В период 1979-1980 гг. работал в Ливии, в почвенно-экологической экспедиции. С 1986 по 1991 гг. – научный сотрудник кафедры физической и коллоидной химии. Здесь организовал и был зав. лабораторией агроэкологии. Докторскую диссертацию защитил в 1993 году. Преподает дисциплины: «Методы экологических исследований - МЭИ», «Учение о гидросфере», «Геоэкология», «Экогеохимия ландшафта», «Ландшафтоведение», «География», «Землеведение». Разработал базовый УМКд по курсу МЭИ для студентов-экологов с грифом Департамента образования и науки РФ. С 1996 г. руководит выездными учебными практиками по курсам «Сельскохозяйственная экология», «Общая экология», «Экология и охрана почв» в Ярославской и Саратовской областях. По Европейскому проекту TEMPUS в 2009 г. написал интерактивное учебное пособие «Экогеохимия ландшафта», изданное в 2010 году. В 2014 году по новому проекту TEMPUS подготовил два электронных учебных пособия «Инженерно-экологические изыскания в системе ОВОС» и «Эко-геохимическая оценка воздействия сельскохозяйственного производства на поверхностные воды». С 1995 по 2006 гг., по совместительству, работал ведущим научным сотрудником Почвенного ин-та имени В.В. Докучаева. В 2002-2004 гг. коллектив, руководимый профессором Яшиным И.М., выиграл трехлетний научный грант: экспедиционный и индивидуальный РФФИ (Российского фонда фундаментальных исследований - инициативный № 02-04-48791, экспедиционный № 02-04-63043) по проблеме «Формирование, миграция и функции водорастворимых органических веществ в почвах тайги». Яшин И.М. изучает почвы и ландшафты Подмосковья, Карелии, Коми Республики и Тыва, Ярославской, Саратовской, Тверской и Архангельской областей. Исследует водную миграцию веществ в почвенном покрове, генезис почв, их состояние и деградацию, процессы почвообразования, а также химическое загрязнение почв лесных, лесопарковых и аграрных ландшафтов РФ. В аспирантуре изучил сорбционные характеристики активированного угля, оксида алюминия и ионно-обменных смол в отношении органических веществ почвенных растворов. Модифицировал метод сорбционных лизиметров. Разработал концепцию биогенной кислотности таежных экосистем. Опубликовал более 170 научных работ, 6 монографий и 5 учебных пособий. Подготовил 6 кандидатов наук. Имеет свидетельство эксперта высшей квалификации. Яшин И.М. активно повышает квалификацию: в 2008 и 2011 гг. проходил научно-педагогическую стажировку в Берлинском университете имени А. Гумбольдта, а в 2013 г. в венском университете ВОКУ (проект TEMPUS). Поддерживает творческие связи с коллегами из МГУ имени М.В. Ломоносова, Института леса Карельского научного центра РАН, Почвенного института имени В.В. Докучаева (г. Москва) и др. Награжден в 2013 г. медалью имени К.А. Тимирязева. Соавтор научных проектов РФФИ и Правительства России. Яшин И.М. активный член Докучаевского общества почвоведов РФ, академик Нью-Йоркской академии наук США с 1995 г., член двух докторских диссертационных ученых советов факультета ПАЭ РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**ЭКО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ**

Иван Михайлович Яшин

Компьютерный набор Яшина М.И.
Отпечатано с готового оригинал-макета в авторской редакции.

Использование сведений без согласования с автором запрещено.

Подписано в печать.....	Формат 60-84 1/16	Гарнитура «Таймс»
Бумага офсетная	Печать офсетная	Усл. п.л.
Усл. кр.-отт.	Тираж 500 экз.	Изд. № 11.
		Заказ №
