

И.М. ЯШИН, А.Д. КАШАНСКИЙ

Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России



**Москва 2015
Издательство РГАУ-МСХА**

И.М. ЯШИН, А.Д. КАШАНСКИЙ

Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России

Монография

(издание 2-е - дополненное и иллюстрированное)



**Москва 2015
Изд-во РГАУ-МСХА**

УДК 631.47+631.622
ББК 40.35
Л 62

Яшин И.М., Кашанский А.Д. Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского Севера России: Монография. 2-е дополненное издание / И.М. Яшин, А.Д. Кашанский. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, **2015. - 202 с.**

Распределение глав по авторам: Яшин И.М. – введение, заключение, гл. 1-7, гл. 8.1, 8.5 и 8.8, 8.2-8.4, гл. 8.6, гл. 8.7; Кашанский А.Д. – гл. 5.1-5.3; научная редакция - Яшина И.М.

В монографии изложены ландшафтно-геохимические аспекты почвообразования, диагностика и краткая систематика почв некоторых регионов Европейского Севера России. Обобщён экспериментальный материал, накопленный авторами во время экспедиционных работ и стационарных исследований в **Архангельской, Ярославской, Московской областях** (и на Лесной даче в Москве), **Республиках Карелии, Коми** за период 1957 - 2015 гг. С 2011 года такие работы начаты и в **ЦЛГПБЗ** в Тверской области. Полученная информация позволила авторам рассматривать почвы не только как самостоятельные природные тела (по В.В. Докучаеву), но и как незаменимые компоненты и продукты функционирования экосистем. **Подобный методологический подход дополняет современные представления о генезисе почв**, их диагностику и систематику, углубляет познание экологических функций почв. Авторы придерживаются комплексного ландшафтно-геохимического и субстантивно-генетического принципов при диагностике почв на основе закона географической зональности почв и биоты. В агроландшафтах ополья *лимитирующими экологическими факторами* почв являются: высокая кислотность, «плужная подошва», эрозия, низкое содержание доступного фосфора, азота и кальция, низкая биологическая активность, ожелезненность поверхностных вод. Важную роль в сохранении и улучшении плодородия почв играют травосеяние и почвозащитные севообороты.

Адресовано научным сотрудникам, магистрам, аспирантам ВУЗов естественнонаучного профиля – почвоведом, агрохимикам, экологам, лесоведам, геохимикам, агрономам.

На обложке: слева - профиль дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой грунтово-глееватой окультуренной почвы *в западине на сенокосе* в подзоне южной тайги Ярославской области (территория АО «Дружба»); **справа** - профиль подзола контактно-осветленного супесчаного на двучленных отложениях в ельнике-кисличнике – плакор увала. Данные почвы изучены в пределах котловины, называемой географами Юрьев-Польским опольем. В почвах агроэкосистем **элювиально-глеевый процесс затухает**, но устремляется глубже пахотного горизонта (**слева на фото и на 2-й странице крупный план той же** почвы на сенокосе). На плакорных увалах развиты двучленные породы.

Работа выполнена при финансовой поддержке **грантов РФФИ** (инициативный № 02-04-48791, экспедиционный № 02-04-63043 – **руководитель проф. И.М. Яшин**) и частично по грантам РФФИ - № 11-04-01376 и Правительства России № 11.G.34.31.0079 (проф. Яшин И.М. в них - один из основных исполнителей) **2011-2014** гг. в Центральном-лесном биосферном заповеднике в Тверской области.

Рецензент: доктор биологических наук, профессор **Мамонтов В.Г.**,

ISBN....

© Яшин И.М., Кашанский А.Д., **2015**
© ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, **2015**
© Издательство РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, **2015**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Ландшафты тайги - эколого-геохимическая оценка.....	7
1.1. Геохимическая характеристика ландшафтов.....	8
1.2. Ландшафты тайги Европейского Севера России.....	10
1.3. Методика картирования ландшафтов и почв.....	14
Глава 2. Процессы глее- и подзолообразования в почвах тайги.....	20
Глава 3. Функционирование таёжных экосистем.....	28
Глава 4. Диагностика свойств почв таёжных ландшафтов.....	30
4.1. Общая морфология почв.....	30
4.2. Систематика материалов полевых работ.....	35
Глава 5. Генетическая таксономия почв тайги.....	36
5.1. Тип подзолистые почвы.....	36
5.2. Подтип глееподзолистые почвы.....	41
5.3. Подтип подзолистые почвы.....	42
5.4. Подтип дерново-подзолистые почвы.....	43
5.5. Тип окультуренные дерново-подзолистые почвы.....	45
5.6. Тип болотно-подзолистые почвы.....	48
5.7. Тип дерновые почвы.....	48
5.8. Тип дерново-карбонатные почвы.....	51
5.9. Тип болотные почвы.....	53
5.10. Тип пойменные (аллювиальные) почвы.....	54
5.11. Почвы островной дельты р. Сев. Двины.....	57
Глава 6. Ландшафты и почвы острова Большой Соловецкий – объекты фонового мониторинга на Европейском Севере.....	61
Глава 7. Морфологическое описание профиля почвы на «ключе»...	70
Глава 8. Опыт изучения экосистем и почв тайги.....	78
8.1. Морфологическая оценка дерново-подзолистой и серой почв Переславльской котловины Ярославской области.....	78
8.2. Оценка химического загрязнения почв и экосистемы.....	98
8.3. Аллелопатические функции органических веществ тайги.....	107
8.4. Экогеохимическая оценка лесопарковых фаций Петрозаводска	113
8.5. Лизиметрический метод изучения жидкой фазы почв.....	128
8.6. Практика применения хроматографического анализа.....	140
8.7. О трансформации веществ на барьерах миграции.....	145
8.7.1. Движущие силы водной миграции веществ.....	152
8.7.2. Средняя линейная скорость водной миграции.....	156
8.7.3. Оценка коэффициента водной миграции.....	158
8.8. Почвы Центрально-лесного заповедника Тверской области....	163
8.9. Математическая обработка результатов полевых опытов.....	176
9.0. Водная миграция веществ в почвах ЛОД и Полевой станции....	179
Заключение	184
Библиография	190

Введение

В настоящее время весьма актуальными являются работы по агроэкологической диагностике и оценке почв. Поэтому при полевых почвенно-экологических изысканиях на стационарных площадках в заповедниках, опытных станциях и в полевых ландшафтах агрохолдингов в зоне тайги у студентов-дипломников, магистров, молодых специалистов и аспирантов нередко возникают вопросы, связанные с *диагностикой и систематикой почв на типовом и подтиповом уровнях*. В этой связи иметь в полевой сумке, наряду с компасом, топографической картой, цифровым фотоаппаратом, GPS или ГЛОНАСС навигатором, диктофоном и полевым дневником *надежную «подсказку»* в форме компактной научно-практической монографии по диагностике почв тайги удобно и полезно. Настоящая монография является 2-м дополненным изданием с *иллюстрированными цветными фотографиями почвенных разрезов*; первое вышло в 2012 году небольшим тиражом. Научная редакция данной книги выполнена профессором кафедры экологии И.М. Яшиным РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

В монографии содержится *ландшафтно-геохимическая диагностика почв, оценка их генезиса* и краткая систематика почв таёжных некоторых ландшафтов Европейского Севера России. Обобщён и проанализирован фактический материал, накопленный авторами за долгий период *экспедиционных и иных полевых изысканий 1957-2015 гг.* в Архангельской, Тверской, Ярославской, Московской областях и Республиках Карелия, Коми, а также на Лесной опытной даче (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и в ЦЛГПБЗ в Тверской области. Заметное внимание уделено генетической оценке почв и ландшафтов подзон южной, средней и северной тайги РФ. Эти сведения сопровождается фактическим материалом. Уместно подчеркнуть, что классификация почв Советского Союза (1977), утвержденная на съезде почвоведов, в конце 90-х годов *была существенно модифицирована* на основе субстантивно-генетического подхода, предложенного и развиваемого американской школой почвоведов. Новая классификация почв России (2000,2004) пока не утверждена, но она обсуждается. Особенности новой классификации почв России подробно рассматривались ранее в работе *Яшина И.М., Шишова Л.Л., Раскатова В.А.* «Почвенно-экологические исследования в ландшафтах» М.: Изд-во РГАУ-МСХА (2000. – 560 с.). В классификации почв России за 2000 и 2004 гг. имеются известные методические недоработки. Охарактеризуем их кратко.

Во-первых, в России огромные пространства занимают *горные ландшафты* (Карелия, Урал, Саяны, Кавказ, Тыва, Забайкалье, Дальний Восток, Камчатка...), а диагностика и выделение типов *горных почв (в том числе и земель государственного запаса)* мелкосопочников, низко- и средне-

и высокогорий вообще отсутствуют. Во-вторых, необходимо соблюдать баланс внимания к генетическим типам почв, учитывая их распространение в ландшафтах и экологические функции, а также значимость в биосфере. В классификации почв излишне много внимания уделяется, например, *подбурам и солонцам*. В-третьих, не в полной мере используется новая почвенно-экологическая информация, накопленная российскими почвоведом в последние годы при мониторинге и стационарном исследовании почв. Это относится к функционированию таёжных экосистем, процессам гумусообразования, фаціальным функциям почв, динамике свойств почв, их эволюции и другим. В-четвёртых, основные *профили почв* в классификации представлены *в форме схем и рисунков*, без цветных фотографий, что затрудняет их восприятие и морфологическую диагностику, нет и ландшафтной привязки. В-пятых, разночтения возникают из-за некорректной интерпретации индексов генетических горизонтов при их диагностике. Например, индекс «*аккумулятивно-карбонатного горизонта*» написан как **ВСА** (*здесь почему-то совмещены индексы 3-х горизонтов – иллювиального В, почвообразующей породы С и гумусово-аккумулятивного горизонта А*). Правильно нужно написать **В_{са}**. Само название этого горизонта неточное – аккумулятивный. Аккумулятивный горизонт в профиле уже есть и им является **гор. А** (Accumulation). Горизонт **В_{са}** – это горизонт скопления педогенных и иных форм CaCO₃, то есть *карбонатно-кальциевый сорбционный барьер миграции*.

И далее. *Субстантивный подход в отличие от Докучаевской трактовки, выигрывает в частном, но проигрывает в общем понимании генезиса почв. Без ландшафтной «привязки» диагностика почв вообще некорректна*, поскольку может завести в информационный тупик. *Диагностику почвы в полевых условиях нужно начинать с оценки географической ситуации, рельефа и пород – это главное*. Затем уже следует детально рассматривать морфологию почвы в профиле (траншее). В этом поможет **триада И.П. Герасимова**: факторы – процессы почвообразования - свойства почв.

В заключение отметим, что такие крупные проекты, как разработка и усовершенствование классификации почв России на Федеральном уровне, нуждаются в **привлечении специалистов сложившихся научных школ и открытом обсуждении**. Другой аспект рассматриваемой проблемы – это интеграция с зарубежными научными школами в проведении совместных научных работ по ключевым проблемам почвоведения, что и предусмотрено при двухуровневой системе образования в ВУЗах РФ. Ландшафты и почвы России в этом плане весьма разнообразные, привлекательные для изучения и создания более точных концепций и классификаций. *Правда, сведения о почвах РФ давно требуют обновления*. Важно не только составить почвенно-экологические карты в разных масштабах, но и их использовать на практике. *Но не будем слишком строго судить эти недостатки*. Докучаевское общество почвоведов (ДОП) – это общественная организация. Поэтому основная масса научных работ выполняется на основе творческого порыва и по малочисленным грантам РФФИ. И очень хорошо, что ДОП все еще осуществляет свою *благородную миссию* по изучению и оценке почвенных ресурсов РФ – основу продовольственной безопасности и устойчивого развития. «Нужно помнить, что только почвы спасали россиян в лихие годы. Другие стихии Земли, вследствие их *чрезвычайной активности*, приносили людям многочисленные беды» - В.В. Докучаев.

Замечания и пожелания присылайте по адресу: ivan.yashin2012@gmail.com профессору Яшину И.М.

Глава 1. Ландшафты тайги – их эколого-геохимическая оценка 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, обуславливаемый 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, характером почвообразующих пород и растительности. Вполне очевидно, что все перечисленные понятия отражают одну общую идею — взаимосвязь и взаимозависимость компонентов ландшафтов.

Сведения о ландшафтах станут основополагающими в предстоящие 10–20 лет, в период возможного глобального изменения климата на Земле (Доклады XI-го съезда Русского географического общества, Архангельск, 2000 г.), способствующего интенсивной инверсии ландшафтных зон, сукцессиям живых организмов (болезням людей) и изменению социально-экономической инфраструктуры многих стран.

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 суперэкоотоксиканты, в частности, диоксины) продукты с воздушными массами переносятся на сотни и тысячи километров, в иные регионы и государства, вызывая экологические кризисы и бедствия.

Несомненно, должна быть личная ответственность лидеров государств, способствующих разрушению и деградации компонентов биосферы перед международным сообществом. Уместно подчеркнуть, что токсиканты постепенно накапливаются в организме людей и животных, включаются в гены. Программы обновления и кодирования белков у них нарушаются. Возникают болезни, именуемые эндемиями.

1.1. Геохимическая характеристика ландшафтов

Геохимическая диагностика должна учитывать специфику географического пространства-времени – миграцию и превращение химических элементов с помощью геохимических параметров. Природно-территориальные комплексы (ПТК), состоящие из многих ассоциаций элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ), формируют ландшафты географической оболочки Земли. Рассмотрим кратко их особенности, поскольку при оценке химического загрязнения почв и экосистем важно знать источники загрязнения, транзитные ПТК и аккумулятивные ЭГЛ.

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

В зависимости от гидротермического режима почвы таких ЭГЛ испытывают миграцию почвенных растворов на известную глубину, способствуя выщелачиванию из генетических горизонтов мобильных форм веществ, образуя водный поток миграции. Грунтовые воды залегают глубже 3...5 м и не оказывают активного влияния на почвенные процессы. В пределах почвенного профиля весной и осенью может возникать верховодка, приводящая к развитию процессов поверхностного оглеения с интенсивным образованием водорастворимых органических веществ (ВОВ) с кислотными и комплексообразующими свойствами. Здесь 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), 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. Трансэлювиальные 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. 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. Эти особенности нередко не учитываются и при картировании ошибочно выделяют почвы со «вторым гумусовым горизонтом». Чтобы избежать подобных ошибок следует найти эталон для сравнения. Им может быть участок леса на плакоре. Понятно, что в элювиальных ЭГЛ второго гумусового горизонта в профиле почв подзолистого типа нет.

3. **Аккумулятивные ЭГЛ** приурочены к поймам и дельтам крупных рек, 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 аллохтонных потоков 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 (иловато-болотными) почвами, которые нецелесообразно отводить даже для комплексной мелиорации.

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 этом геохимическом ландшафте направлен от водоразделов к склонам и далее вниз к местным базисам эрозии, а затем к общему базису эрозии — морю, океану.

1.2. Ландшафты тайги Европейского Севера

В зоне тайги выделяют ряд подзон: северная, средняя и южная тайга.

Известно, что леса — сложный тип растительности, в котором роль эдификаторов принадлежит вечнозеленым 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. Н. Сукачев создал классическую схему эколого-фитоценологических рядов ельников и сосняков европейской части России.

Для более четкой дифференциации растительности и почвенного покрова по степени континентальности климата, характеру увлажненности и особенностям почвообразования некоторые авторы в пределах указанных подзон тайги выделяют 4 провинции: Канино-Печорскую, Онежско-Тиманскую, Тимано-Печорскую и Онего-Двинскую. Каждая из них разделяется на округа в соответствии с особенностями рельефа. В итоге получается 15 почвенно-географических округов.

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: ее южная граница начинается у Двинского Березника 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 п. Мезени. Северные леса подвергаются интенсивным промышленным рубкам и почти заменены вторичными, которые находятся на разных стадиях антропогенной сукцессии. Особенно сильно пострадали от промышленных вырубок массивы лесов, приуроченные к боровым террасам северных рек. 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.

Антропогенная нагрузка на таежные ландшафты в последние десятилетия существенно повысилась, что привело к их заметному разрушению и масш-



Рис. 1. Ландшафты средней и северной тайги России – объекты промышленных рубок в зимний сезон. Два негативных аспекта характерны для этого процесса зимой: 1-й – нарушение почвенного покрова и 2-й – глубокие дорожные колеи - как дренажные каналы, осушающие урочища. Бурый цвет верховодки свидетельствует о ведущей роли таежной биоты и почв в *формировании цветности рек тайги*.

табной деградации (рис.1). 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. 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.

Миграция экотоксикантов тесно связана с рельефом. Уместно охарактеризовать его особенности. На территории Европейского Севера отмечена заметная генетическая неоднородность форм рельефа. Она обуславливает различия в составе, свойствах почвообразующих и подстилающих пород и, как следствие, пестроту, комплексность и полигенетический характер почвенного покрова.

Рельеф изучаемого региона сложился под влиянием следующих ландшафтообразующих факторов: неотектонических движений, морских бореальных трансгрессий, деятельности флювиальных потоков и оледенений. Сравнительно выравненная поверхность приморской территории региона (колебания высот: 8...23 м над у. м. — долины рек Сев. Двины, Кулоя, Мезени); в пределах Андомской возвышенности и Тиманского кряжа (350-

600 м над у.м.) осложняется останцовыми плато, представляющими собой древние поверхности выравнивания. Экзарационная и флювиальная деятельность ледников, бореальные трансгрессии Белого моря определили меридиональную и широтную неоднородность типов рельефа, а также провинциальное генетическое разнообразие почвообразующих и подстилающих пород. На исследованной территории повсеместно залегают четвертичные отложения различной мощности и химического состава. Поверхность равнин приморья нарушена системой эрозионно-денудационных низких плато (Беломорско-Кулойское и Онего-Двинское, абсолютные отметки 200...228 м над у. м.). В первом, например, обнаружены промышленные залежи алмазов.

На западе и юго-западе указанной выше области заметно уплощенные конечно моренные и моренные холмисто-грядовые образования покоятся на приподнятом фундаменте из коренных пород (известняков, доломитов и мергелей) каменноугольного и пермского периодов. В этой местности отмечается высокая карбонатность пород и почв. Здесь широко развиты техногенно-эродированные, часто каменистые с укороченным профилем, но потенциально плодородные дерново-подзолистые остаточнок-карбонатные почвы.

Центральная, восточная и особенно южная части территории Архангельской области весьма неоднородны по рельефу в связи с экзогенными процессами и эрозией. Здесь оторфованность территории уменьшается. Преобладают моренно-камовый и холмисто-грядовый равнинный мореный ландшафты. На севере и в центральной части области моренные и озерно-ледниковые суглинистые породы перекрываются слоями безвалунных песков и супесей.

Почвообразующие породы и подстилающие их коры выветривания на европейском Севере неоднородны по происхождению, литологии, возрасту, петрографическому составу и химическим свойствам. Широко распространены *двучлены и морена*. Почвы, формирующиеся на них, наследуют разнокачественные особенности их генезиса. Фильтрация атмосферных осадков на породах глинистого и суглинистого составов *сильно замедлена*. Эти особенности наряду с климатическими, гидрологическими и геоморфологическими факторами определяет активное *болотообразование* в ландшафтах тайги.

Из коренных пород обширной северо-восточной части территории бассейнов рек Мезени, Пинеги, Кулоя, Пезы и Сояны следует выделить *красно-бурые терригенные осадки перми*, переслаивающиеся у дневной поверхности с четвертичными наносами. В восточной части области на пермских песчано-глинистых образованиях прослеживаются породы триаса (кварцевые пески, песчаники и конгломераты). В западной части территории отмечены гипсово-ангидритовые коренные породы.

Сопоставление почвенных и карт растительности с геологическими и геоморфологическими позволяет выявить известные индикационные

зависимости между лесными формациями и геолого-геоморфологическими комплексами. В настоящее время это оперативно делается с помощью ГИС - технологий. Например, формация еловых лесов в европейской части страны часто приурочивается к территориям, рельеф которых образован основной (донной) моренной. Формация сосновых лесов служит указателем водно-ледниковых и зандровых равнин с подзолами альфе-гумусовыми. Сосново-еловые леса диагностируют местоположения конечных песчано-супесчаных морен, а также надпойменных террас рек.

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 зоне тайги господствуют глееподзолистые, подзолистые, болотно-подзолистые, а также болотные и локально дерново-подзолистые почвы (при близком залегании CaCO_3); широко распространены на борových террасах рек подзолы; встречаются и мерзлотные таежные почвы.

Среди лесных ландшафтов в тайге и зоне смешанных лесов широко распространены луговые ландшафты. Не случайно Ярков С.П. одну из своих работ назвал «Почвы лесолуговой зоны» (1961).

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

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 (эктоны) 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, 1968). Лимитирующим экологическим фактором, например, для плодовых культур здесь является высокий уровень залегания грунтовых вод.

1.3. Методика картирования ландшафтов и почв

Чтобы добыть необходимые сведения о природных ландшафтах и ландшафтообразующих процессах в полевой обстановке любого региона проводят рекогносцировку, а затем и собственно ландшафтное картографирование в М 1:10000 или М 1:25000 (крупномасштабная съемка). Рекогносцировка часто проводится путем облета (или объезда) всей изучаемой территории с редкими остановками и изучением ландшафтов. Цели рекогносцировки и сплошного картирования разные, хотя эти натурные изыскания включают одинаковые виды работ: маршрутные наблюдения, опорное ландшафтное профилирование, съемку ключевых (и эталонных – ненарушенных) участков. Все виды работ реализуются на так называемых точках: опорных, основных, картировочных и специальных. Опорные точки закладываются на опорном ландшафтном профиле. Здесь осуществляются наиболее полные исследования почв, растительности, пород, гидрологии... Нередко собирается гербарий, берутся образцы почв и вод для аналитической диагностики. Методика отбора проб изложена в соответствующих курсах по почвоведению, геоботанике и гидро-геохимии. Каждый образец (или проба) сопровождается этикеткой, в которой мягким простым карандашом указываются: № точки наблюдения, № пробы, индекс горизонта, глубина отбора, дата, исполнитель. На опорных точках выявляются взаимосвязи всех компонентов и зависимость их состояния и свойств от рельефа, климата...

Основные точки закладываются при маршрутных исследованиях в наиболее типичных фациях (преобладающих в ландшафте по площади). Полученные сведения можно экстраполировать на аналогичные фации, расположенные в аналогичных условиях. Это позволяет экономить материальные ресурсы. Подобный подход особенно эффективен при наличии макета ландшафтной карты и камерального дешифрирования аэрофотоснимков. В полевой обстановке один вид фации характеризуется одной основной точкой наблюдения. Здесь подробно дают морфологическое описание полнопрофильного почвенного разреза, выделяют 3-5 геоботанических площадок и детально описывают растительный покров (методы оценки фитоценозов изложены, например, в учебном пособии: Яшин И.М. с соавт., 2000. С. 198...).

Картировочные точки используются для уточнения ландшафтной ситуации, для краткой оценки фаций-аналогов, обстоятельно охарактеризованных на основных и опорных точках.

Специализированные точки закладывают для углубленной оценки одного из компонентов ландшафтов: почв, растительности, пород, гидрографии (характер водосборов, экзогенные процессы...), или оценки почвенно-экологических процессов.

Работа на точках наблюдения начинается с их географической и топографической привязки, которая записывается в полевом дневнике. Местоположение точки отмечается и на топографической карте

(аэрофотоснимке) и нумеруется. Привязка точки осуществляется по двум постоянным ориентирам, на которые можно взять азимут. Это положение весьма актуально при средне- и мелкомасштабной съемке. В последнем случае для точки наблюдения уточняют географические координаты местности по GPS навигатору или российской системе ГЛОНАСС.

Оценка растительного покрова. Обычно она предшествует изучению почв и закладке шурфов на опорных и основных точках. Работа в лесу начинается с выбора нескольких (произвольно устанавливаемых) геоботанических площадок, исходя из цели изысканий и масштаба съемки (площадью 900 м²). Площадка должна располагаться в пределах одной растительной ассоциации (биогеоценоза). Схема описания растительности хорошо отработана и изложена в методических руководствах по геоботанике. Характеристика лесной растительности включает оценку типа леса (лиственные, смешанные, хвойные... с уточнением природной зоны – умеренная, холодная, субтропическая..., где она расположена: на равнине, в горах), ярусности деревьев и кустарников, наличие подроста, высоты деревьев (по ярусам), густоту древостоя, сомкнутость крон, диаметра стволов на высоте 1-1,2 м; уточняются внешние изменения вегетативных органов растений и коры... Каждое название растений дается по-русски и по-латыни. Обычно отмечают род и вид: ива белая – *Salix alba*; береза бородавчатая – *Betula pendula*. Подробно изучаются лесные подстилки, опад, наличие мохового и лишайникового покрова, приствольные повышения, состояние древостоя, корней растений и иные параметры.

Наземный растительный покров в естественных фитоценозах исследуется с учетом типа ассоциации: луг (заболоченный, настоящий – типичный, остепненный) и болото (травяное, верховое, низинное, переходное...). Указываются следующие показатели: проективное покрытие (визуально и в процентах) доминанты; обилие по шкале О. Друде: Cor_3 (очень обильное), Cor_2 (обильное – растений на 1 м² – много ~ 75-80% от площади), Cor_1 (довольно обильно), Sr (растения рассеяны по площади: их приходится искать), Sol (растения единичны, их нужно находить), Un (единственный экземпляр), Gr (растения рассредоточены группами, неравномерно); высота растений; видовой состав, доминанты, фенофаза, биопродуктивность, жизненность форм, характер антропогенного воздействия: повреждение листвы (пятнистость, налеты, увядание или высыхание, скручивание, хлороз: осветление или изменение окраски), повреждение молодых побегов (их вялость, недоразвитость, высыхание и хлороз), наличие нехарактерных для данного вида утолщений (на листьях, молодых побегах и стволах), изменения корневой системы (высыхание, малое количество...).

При определении биопродуктивности наземного покрова на специализированных точках наблюдения травы срезаются на высоте 3-5 см от поверхности почвы, взвешиваются до и после высушивания (в затененных и проветриваемых сараях), разбираются по видовому составу и группам – злаки, осоки, бобовые, разнотравье. Урожайность выражается в кг зеленой

(или сухой) массы на 1 м². На 1 га этот параметр давать нецелесообразно, поскольку на этой площади в зоне тайги можно обнаружить большое разнообразие почв и растительности. Оценка растительности завершается сбором гербария (в частности, на новом или удаленном ландшафте) и определением растительной ассоциации по доминантам. Название обычно бывает 2-х или 3-х членным. На последнее место ставится название преобладающего вида: разнотравно-вейниковый луг, мятликово-бобово-разнотравный луг, ковыльно-типчаково-полынная предгорная степь Тувы, осоково-разнотравный заболоченный луг притеррасной поймы р. Сев. Двины. При диагностике лесной ассоциации (парцеллы, биогеоценоза) дополнительно указываются особенности мохово-травяно-кустарничкового покрова и подлеска. Например, липово-дубовый лес с лещиной, ельник-черничник – зеленомошный и т.д.

Для оценки масштаба, интенсивности и характера влияния (негативное или позитивное) антропогенеза на растительный покров указывается вид воздействия и результат: сенокос высокопродуктивный орошаемый, выбитое - деградирующее - пастбище на пологом склоне увала, лесосека, сбор живицы в сосняке-беломошном, мелиорированный массив пастбища с регулируемым выпасом скота и т.д.

КОМПЛЕКСНОЕ ОПИСАНИЕ ФАЦИИ

Точка № _____ Автор _____
 Дата «__» _____ 20__ г. Время __ ч __ мин.
 Адрес (привязка): _____
 АФС № _____ Лист № _____
 Ландшафт _____
 Урочище _____
 Фация _____
 Ландшафтообразующие процессы _____
 Выраженность границ фации _____
 Прочие наблюдения _____
 Состояние фации _____
 Пригодность фации для повторных наблюдений _____

Выше приведен образец бланка описания фации – наименьшей структурной единицы ландшафта. Морфологическое описание растительного покрова на ключевых участках в зоне тайги включает диагностику взрослых деревьев (с выделением доминантов), а также подроста, подлеска и наземного покрова. Он нередко представлен хорошо развитой лесной (оторфованной) подстилкой с кустарничками черники и брусники. Обращается внимание на экологическое состояние растений (некрозы листьев и хвоинок, повреждения корней...), наличие эпифитных лишайников. Например, их присутствие на ветвях хвойных деревьев свидетельствуют о чистоте воздуха. Особое внимание следует обратить на состояние лесной подстилки: её мощность, сложение и нарушенность. При систематике почвы возникает необходимость диагностики почвообразующих пород, играющих важную роль в генезисе

почв. Рассмотрим кратко основные типы континентальных отложений: элювиальные, склоновые, водные, ледниковые, эоловые.

Элювиальные отложения (индекс Э): обычно формируются на месте разрушения горных пород.

В зоне тайги наиболее типичен элювий известняков и доломитов. Геологи выделяют следующие зональные типы элювия:

- 1) грубообломочный (характерен для тундровой зоны),
- 2) сиаллитный песчано-глинистый – гидрослюдистые, каолиновые, монтмориллонитовые, охристые и другие элювиальные глины и суглинки (умеренная зона),
- 3) сиаллитный карбонатный (степная зона),
- 4) сиаллитный хлоридно-сульфатный (зона пустынь),
- 5) сиаллитно-аллитный и аллитный – всевозможные красноземы, желтоземы, латериты, бокситы и другие породы (тропическая и субтропическая влажные зоны).

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ

Размер площадки _____ м²

Древостой

№ п/п	Название растений	Балл	Ярус	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, (лет)	Высота прикр. крон	Фенофаза	Состояние

Сомкнутость крон _____

Подрост

№ п/п	Название растений	Обилие	Высота, м	Жизненность	Распределение	Фенофаза	Состояние

Травостой

№ п/п	Название растений	Обилие	Фенофаза	Высота	Примечание

Проективное покрытие* травами _____

* **Примечание:** Шкала Друде (1890) в модификации В.Н. Сукачева (1931):

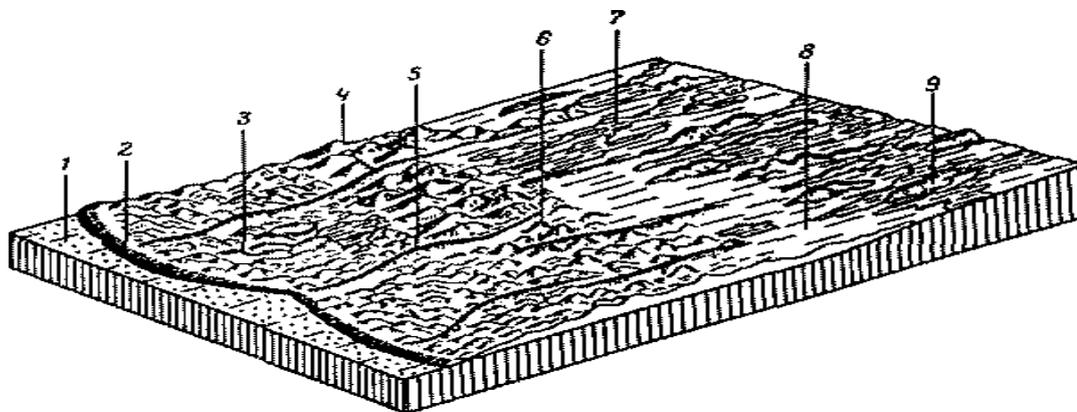


Рис. 2. Ледниковые и водно-ледниковые формы рельефа

1 – зандровая равнина; 2 – конечная моренная гряда; 3 – всхолмленная моренная равнина; 4 – друмлины; 5 – озы; 6 – камы; 7 – озера ледникового выпавивания; 8 – эродированная льдом коренная порода; 9 – бараньи лбы и курчавые скалы

Склоновые отложения: делювий и пролювий. Уже само наличие их свидетельствует о расчлененном рельефе. В таёжных ландшафтах широко распространены делювиальные склоновые отложения.

Водные отложения: речной аллювий (индекс А), пролювий, озерные отложения. Наибольший интерес представляет речной аллювий, поскольку с ним связано развитие наиболее плодородных пойменных почв.

Отложения древнего аллювия приурочены к террасам крупных рек (индекс АД).

Озерные и болотные породы обычно представлены песчаниками и глинами; часто обогащены органическими остатками, вплоть до образования органогенных отложений (ракушечники, сапропелевые и бурые угли, горючие сланцы, торфяники). В глинах хорошо сохраняются ископаемые отпечатки листьев, насекомых. В озерных породах встречаются осадочные железные и марганцевые руды. В озерных отложениях гумидных районов, по Н.М. Страхову, наблюдается пять слоев снизу вверх:

1) карбонатные илы (карбонаты поступают с окружающей территории);

По Друде	По В.Н. Сукачеву (проективное покрытие, %)
Copiosae ₃	более 80
Copiosae ₂	60-80
Copiosae ₁	40-60
Sparsae	20-40
Solitaria	менее 20
Rare	единично

- 2) осадки с оолитовыми железными и марганцевыми образованиями (после карбонатов из окружающих пород вымываются подвижные соединения железа и марганца);
- 3) сапропелевый слой (под влиянием поверхностного стока в озеро поступают соли азота и фосфора, служащие питанием для планктона);
- 4) толща терригенных и органогенных осадков (после их накопления озеро превращается в болото);
- 5) торфяник, в осадках со временем превращающийся в уголь.

Ледниковые отложения:

- моренные (индекс М),
- флювиогляциальные (индекс В) и
- озерно-ледниковые породы (индекс Оз).

Моренные отложения плотные, неоднородные, несортированные, содержат валуны и камни, редко CaCO_3 . Флювиогляциальные отложения обычно косослоистые, образуют короткие линзы по-разному сортированного материала, сложенного песчано-гравийными породами. Озерно-ледниковые отложения представлены песчано-глинистым материалом со слоистостью ленточного типа (рис.2).

Нередко рядом с ключевым участком находятся водные объекты (водохранилище, озера, пруд, ручей, река, низинное или верховое болото, мочажина, колодец, гейзер...). Их краткое и точное описание заметно дополняет информацию о рельефе (его динамике, трансформации...) и ландшафте.

При этом характеризуют тип водного источника, расстояние до него от точки наблюдения, особенности берегов (обрыв, пляж, заболоченное пространство...), специфику донных и береговых отложений (их слоистость, мощность, цвет...). Диагностируются глубина, ширина, примерная скорость течения воды. Указывают также цвет, запах, прозрачность, соленость и наличие водорастворимых органических веществ, обуславливающих интенсивно бурый цвет речных и иных вод ландшафтов тайги и тропиков Земли. Именно эти органические лиганды (в том числе и низкомолекулярные формы фульвокислот) определяют особенности трансформации и водной миграции различных продуктов почвообразования и техногенеза (включая тяжелые металлы, радионуклиды и иные химические элементы).

Уместно отметить в полевом дневнике наличие несанкционированных свалок бытового мусора и промышленных отходов. Их диагностика позволит полнее охарактеризовать экологическую ситуацию изучаемого объекта. Уточнить возможные источники загрязнения природных вод.

Особенно опасны в этом отношении различные захоронения токсичных веществ. Поскольку вмещающая их тара со временем приходит в негодность, а химически активные вещества попадают в ландшафты, загрязняя почвы... Обнаруженные сведения об экотоксикантах сообщаются административным органам, а на топографической карте делается пометка и привязка.

Глава 2. Процессы глее- и подзолообразования в почвах тайги

Ещё недавно почвы таёжной зоны, как и процессы почвообразования, были ясными и понятными. Но уже при детальном картировании почвенного покрова нативных и аграрных фаций тайги в М 1: 500 были выявлены новые, ранее не известные факты, порой труднообъяснимые. Наряду с доминантами были диагностированы сопутствующие типы и подтипы почв, генезис и функции которых ещё требуют обоснования. Точная оценка результатов почвенного картирования осложнялась также неоднородным сложением почвенных профилей: в ландшафтах Европейского Севера России очень широко распространены двучленные породы и подзолы на двучленах. Эти генетические образования в пределах первого метра состоят из двух разнокачественных наносов – нижнего тяжелосуглинистого субстрата (водоупора, включающего камни, валунчики и хрящ) и верхнего песчано-супесчаного, мощность которого колеблется от 53 до 82 см. На подобных породах и сформировались своеобразные почвы с элювиально-иллювиальной дифференциацией илистых частиц, химических элементов и фульвокислот. Ряд авторов называет их *текстурно-дифференцированными почвами* (ТДП), но единства взглядов на генезис подобных почв пока не достигнуто.

Процессы глее- и подзолообразования в подзолах, развитых на двучленах, хранят ещё много загадок. Некоторые из них мы дальше попытаемся охарактеризовать. Важно использовать данную информацию при построении классификации почв Европейской территории страны (ЕТС).

Первая загадка, как ранее отмечено, связана с периодической сезонной вуализацией (маскировкой) белёсого подзолистого горизонта в серый цвет водорастворимыми органоминеральными комплексными соединениями Fe и Mn, мигрирующими из лесной подстилки. Экологические аспекты этого механизма нам пока неясны. *Вторая загадка* обусловлена современной трансформацией веществ иллювиально-железистого горизонта (коллоидов гидрогелей гидроксида Fe) под влиянием мигрантов - ВОВ с кислотными свойствами. Экологическая природа этого явления также пока неясна, но в полевых опытах выявлено, что она имеет сезонный характер: в засушливые летние месяцы идёт активная минерализация растительного опада, а нисходящий масштаб миграции ВОВ из лесной подстилки оказывается незначительный. В этом случае воздействие кислотных компонентов ВОВ на коллоиды гидрогелей гидроксида железа в горизонте **V_f** оказываются незначительными: ВОВ здесь аккумулируются. Наряду с этим в засушливый сезон в подзоле возможно восходящее подтягивание влаги вместе с гидрозолями Fe(OH)₃, которые, осаждаясь на частицах песка горизонта **E**, маскируют его в бурый цвет (рис.3,В).

В дождливые летние периоды (они наиболее типичны для тайги, как и оглеение почв), а также осенью и весной резко увеличивается мобилизация

ВОВ в раствор из лесной подстилки, а масштаб их водной миграции в почве достигает максимума. При избыточной сорбции компонентов ВОВ коллоидами $\text{Fe}(\text{OH})_3$, **гор. В_f** наблюдается *биогеохимическая мобилизация* в почвенный раствор ионов железа, формирование устойчивых и мобильных Fe-фульватных комплексов, и их миграционное перераспределение в профиле двучлена. В результате иллювиально-железистый горизонт В_f может полностью в профиле «исчезнуть», а под лесной подстилкой образуется очень мощный белёсый горизонт, нередко смыкающийся с контактно-осветлённым аналогом. В этом случае почву можно ошибочно диагностировать как сверхмощный подзол.



А

В

Рис. 3. Профиль глееподзолистой почвы северной тайги (А); справа (В) – установка сорбционных лизиметров в профиле подзола на двучленах в нижней 1/3 склона лесопарка Петрозаводска; **гор. EL'g здесь имеет голубой цвет за счёт аккумуляции *in situ* вивианита; водную миграцию сложных железо-фульватно-фосфатных комплексов впервые экспериментально охарактеризовал Фокин А.Д. в 1975 г. (фото Яшина И.М., 2004).**

На самом деле, и в том, и в другом случае была одна и та же почва, в которой реализуется сезонная динамика различных форм соединений железа. Указанные факты не дают основания для выделения в зоне тайги бурых почв (и буроземов) и мощных подзолов на двучленах. Стационарные исследования позволяют уточнить данные вопросы и ограничиться при диагностике минимумом типов почв.

Третья загадка связана с уникальной ролью веществ контактно-оглеенного горизонта, являющегося своеобразной «фабрикой» коллоидов Fe, Al, Mn, Si, которые участвуют в цементации вышележащего песчаного профиля микроподзола в засушливые сезоны [94, 97]. Коллоиды Fe, Al, Mn, Si играют важную роль как в восходяще-нисходящих миграционных процессах, сорбции мигрантов, так и в структурной матричной организации

мелкозёма подзолов. Эти явления пока обоснованы неполно и требуют экспериментального подтверждения.

На склонах холмов и увалов тайги по контактно-осветлённому горизонту наблюдается активный латеральный перенос мигрантов к местным базисам эрозии, где наблюдается масштабная аккумуляция мигрируемых химических соединений. Образуются плитки, желваки и крупные Fe, Mn конкреции. Коллоидные формы переходных металлов активно сорбируют ВОВ и ионы иных мигрантов. Диагностика морфонов в горизонтах минипodzола затруднена, что наглядно видно на рис. 4,В.

Рассмотрим общие черты морфологии ТДП на примерах почв стационарных площадок в подзонах южной и средней тайги (см. фото). Данную информацию мы представляем, с одной стороны, из-за неоднозначной трактовки имеющихся сведений по двучленам, а с другой – необходимостью объяснения движущих сил их развития и трансформации.



А

В

Рис. 4. Профили дерново-подзола на двучленах: слева (А) - в мае, справа (В) - в августе. Плакор холма ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (фото Яшина И.М., 2007).

Элювиальная часть ТДП представлена в виде микропрофиля подзола. В почвах лесных ландшафтов сразу под лесной подстилкой залегает хорошо выраженный белёсый подзолистый горизонт Е (супесчаный, чётко выраженный в сухое лето), глубже - иллювиально-железистый B_f , переходящий в элювиально-глееватый или контактно-осветлённый суглинистый горизонт $EL'g$. Подчеркнём, в весенне-летний период песчано-супесчаный подзолистый горизонт маскируется мигрируемыми из опада и лесной подстилки компонентами ВОВ и Fe – Mn-органическими соединениями в серый цвет (рис.4, справа). Особенно активно сорбция данных мигрантов отмечена в горизонте B_f . Другой белёсый (элювиально-оглеенный) горизонт характерен для контактного слоя, где происходит

сезонный застой внутрипочвенной влаги, и активно формируются коллоидные системы Fe, Mn, Si, AL (рис.4, слева). **Элювиальная часть** профиля минипodzола отличается почти провальной фильтрацией влаги, обеднена илистыми частицами, а мелкозём имеет низкую ёмкость поглощения. Здесь наблюдается сегрегация железа и ВОВ в мелкие черно-бурые Fe, Mn конкреции. Текстурная часть профиля имеет бурый цвет с красноватым оттенком, тяжелосуглинистая, очень плотная и без корней растений. Её самая верхняя часть (горизонты EL/V_t – V_t/EL) отличается наиболее сложной структурной организацией и пронизана сетью вертикальных клиновидных трещин, которые заполнены продуктами почвообразования (белесовато-серыми пылевато-илистыми частицами). По трещинам происходит миграционное перераспределение илистых частиц, как правило, «под защитой» ВОВ, обладающих свойствами поверхностно-активных соединений. Визуально перемещение ила обнаруживается по порам, поверхности педов и внутри крупных трещин по тонким слоям кутан. *Специфика строения профилей ТДП свидетельствует о сложности и стадийности их элювиально-иллювиальной дифференциации.* Рассчитанные нами коэффициенты дифференциации **k_d** илистых частиц (как соотношение их масс в горизонтах **V_t/EL**) варьируют, например, в лесопарковой катене Петрозаводска от **11 до 14**. Здесь отмечена трансформация иллювиально-железистого барьера миграции при сезонном поверхностном переувлажнении podзол в микрозападинах. Начальный этап вуализации (или эффект «гумусовой занавески») горизонтов **E, V_t** podзолов мигрантами отмечается ранней весной, к августу он достигает максимума. Генезис **двух осветлённых горизонтов podзолов** на двучленах (верхнего и нижнего) неоднозначен. В своей основе они тесно связаны не только с глее- и podзолообразованием (превращением и миграцией соединений железа, кислотным гидролизом вторичных минералов...), но и с изменением водного режима на участках с ветровалами и вырубками.

Рассмотрим кратко экологические аспекты, а также уровни реализации глее- и podзолообразования в экосистемах южной и средней тайги. Podзолообразование охватывает самый высокий - экосистемный уровень - биогеохимический круговорот (биогенную и абиотическую миграцию), а оглеение – это горизонтный почвенный биохимический процесс, протекающий с участием анаэробных микроорганизмов. Он связан с трансформацией почвенных минералов, формированием коллоидов и органо-минеральных соединений Fe, Mn при обязательном присутствии компонентов ВОВ. Оглеение может выступать в качестве ускорителя podзолообразования, если в почвах таёжной экосистемы имеется временный (сезонный) избыток влаги. Глее- и podзолообразование являются самостоятельными почвенными процессами и характеризуются разными движущими силами и продуктами почвообразования. В определённых условиях возможно их совместное проявление на уровне почвенно-экологического процесса. **В почвах агроландшафтов тайги** ведущее место

занимает глееобразование, а оподзоливание становится сопутствующим процессом. Большой фактический материал, накопленный отечественными и зарубежными специалистами, позволил сформулировать следующие гипотезы подзолообразования: коллоидно-химическая, физико-химическая, биохимическая, биогеохимическая. Каждая из них имеет свои сильные и слабые стороны. Концепции, основанные на лабораторном моделировании, излишне преувеличивали, например, роль угольной кислоты в разрушении почвенных минералов. Угольная кислота очень слабая и не может составить конкуренции ни органическим кислотам, ни тем более ФК. Указанные выше гипотезы дополняют друга, позволяя осмыслить этапы познания почв и процессов почвообразования. В частности, несмотря на различия представлений о механизмах оподзоливания, установлено, что профиль ТДП формируется благодаря кислотному гидролизу почвенных минералов в элювиальном песчаном наносе и иллюированию (перераспределению) в подстилающий тяжелосуглинистый слой продуктов почвообразования.

При этом существуют три точки зрения на механизмы перераспределения мигрантов. Первая – внутрипрофильная водная миграция веществ в растворах; вторая – биогенная миграция – вовлечение химических элементов в биомассу биоты; и третья – биогеохимическая миграция, которая включает первые два механизма. Взгляды российских специалистов на важную роль суспензионного переноса частиц пыли и ила в формировании суглинистых подзолистых почв вначале не находили поддержки у своих коллег. *Но после работ европейских исследователей Duchaufour (1951), Dudal (1953), Kubiena (1951), Muckenhausen (1958) интерес к концепции перераспределения тонкодисперсных частиц без их разрушения* в профилях почв, развитых на двучленах, возник снова. Впоследствии была сформулирована и обоснована известная концепция **лессиважа** в суглинистых почвах подзолистого типа тайги. Дальнейшие работы позволили установить *полигенетичный характер профилей ТДП*, оценить экологическую роль глее- и подзолообразования в нативных и аграрных экосистемах тайги (И.М. Яшин, 1974, 1993, 2013).

Сравнительная оценка процессов глее- и подзолообразования показала их своеобразие и тесную генетическую взаимосвязь с экологическими функциями почв таёжной зоны. Так, биогеохимические функции, связанные с трансформацией и миграцией веществ (водной и биогенной) *при подзолообразовании в таежных лесах реализуются на уровне экосистемы, а оглеение охватывает более низкий уровень – почвенный (горизонтный)*. Ландшафтно-геохимические условия проявления рассматриваемых процессов также различные: при подзолообразовании участвуют самые различные ЭГЛ – от автономного до транс-аккумулятивного. Оглеение проявляется преимущественно в местах избыточного увлажнения – супер-аквальных и аккумулятивных ЭГЛ.

Характер миграции химических элементов неодинаков: при оподзоливание почв в экосистемах тайги доминирует биогенная миграция,

дополняемая водной внутрипочвенной, а при оглеении важную роль играет диффузия и миграция коллоидов.

Почвенно-геохимические барьеры, участвующие в реализации процессов глее- и подзолообразования заметно различаются. При подзолообразовании участвуют биогеохимический барьер миграции, карбонатно-кальциевый, кислотный, окислительный, сорбционный.

А при оглеении – глеевый барьер миграции, глеевый сероводородный, сорбционный. Формы мигрантов, появляющиеся в качестве продуктов реакций данных процессов, заметно отличаются. В частности, при оглеении ярко выражена коллоидная форма миграции (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительная оценка процессов глее- и подзолообразования и их взаимосвязь с фаціальными функциями почв таежных ландшафтов Европейской России (Яшин И.М., 1993).

Основные функции почв и процессы	Характеристика нативных процессов почвообразования	
	Подзолообразование	Глееобразование
1	2	3
Почвы лесных (таёжных) ландшафтов		
I. <i>Биогеохимические функции</i> , связанные с миграцией и трансформацией веществ в экосистемах тайги: а) <i>биогенная миграция</i> , б) <i>абиогенная миграция</i> .	а) Таежные экосистемы (высшие растения, мхи, лишайники, микрофлора - грибы (и их продукты) б) Вода как фактор перераспределения веществ в профиле почвы, ландшафте.	а) Анаэробные микроорганизмы (и продукты их жизнедеятельности), б) Вода как фактор гидролиза поливалентных металлов; вода + ВОВ как фактор кислотного гидролиза коллоидов и минералов.
II. <i>Ландшафтно-геохимические условия</i> : а) тип элементарного геохимического ландшафта, б) характер миграции продуктов почвообразования, в) почвенно-геохимические барьеры, г) залегание почв по рельефу.	а) Автономный (элювиальный) и транзитно-элювиальный, б) Биогенный и абиогенный циклы миграции, в) Биогенный; карбонатный, окислительный; кислотный (гор.ЕL-накопление SiO ₂), г) Почвы плакоров, склонов моренных гряд, холмов и выположенных увалов, а также речных и озерных террас.	а) Супераквальный и субаквальный (и подводный), б) Диффузия и коллоидная миграция ионов Fe, Mn, Al и Si, в) Глеевый (без H ₂ S); сероводородный, г) Почвы низин, болот, зарастающих озер и депрессий в таёжных ландшафтах.
III. <i>Оценка БИКа (тайга)</i> .	Биомасса - 500-3000 (ц га ⁻¹), Прирост - 40-80 (ц га ⁻¹).	Точная диагностика затруднена.

Глее- и подзолообразование по-разному проявляются в почвах агроландшафтов тайги. Оглеение здесь становится ведущим почвенным процессом, а оподзоливание реализуется частично и играет подчинённую роль. Именно поэтому удаётся окультуривать дерново-подзолистые почвы и получать на них устойчивые и высокие урожаи с.-х. культур. Чтобы уточнить взаимосвязи между компонентами ландшафтов проанализируем известную триаду И.П. Герасимова *факторы – процессы - свойства почвы*. Данная триада теоретически правильная, но на практике не всегда реализуемая. Во-первых, полного соответствия между почвенным процес-

<p>IV. Почвенно-биогеохимическая обстановка таёжной экосистемы:</p> <p>а) окислительно-восстановительные условия, б) преобладающие катионы в ППК, в) характер превращения наземного растительного опада, г) образование и превращение групп ГС, д) реакции, типичные для превращения почвенных минералов, е) водный режим.</p>	<p>а) Eh > 350 мВ, б) H₃O⁺ и Al³⁺ (дефицит Ca²⁺), в) Биогенное кислотообразование в таёжной экосистеме, минерализация ВОВ, их миграция: формирование при этом в гор. A₀, EL и EL/B группы ФК, г) В кислом интервале pH биополимеры типа гуминовых соединений (ГС) не формируются. Доминируют ВОВ с низкими молекулярными массами (ММ < 10 000 дальтон), д) Доминирует биогеохимическое выветривание при активном участии растений и ВОВ. Гравитационные потоки влаги устраняют разобщенность зон мобилизации и взаимодействия ВОВ с минералами почвы. При этом зоны реакций постоянно обновляются, т.к. продукты удаляются. Сорбция ВОВ минералами, имеющими наибольшую сорбционную емкость. е) Промывной, КУ > 1.</p>	<p>а) Eh < 350 мВ (нередко < 0), б) H₃O⁺, Fe²⁺ (м.б. Ca²⁺, Al³⁺), в) Биогенное кислотообразование с участием <i>микрофлоры</i> (в горизонтах почвы) - накопление кислот в составе ВОВ, г) В зависимости от величины pH и наличия ионов Ca²⁺ процесс образования ГС может быть как активным, так и заторможенным, д) Доминирует биохимическое выветривание при активном участии анаэробной микрофлоры и ВОВ (как энергетического фактора). Динамичны реакции трансформации веществ: гидратация минералов, гидролиз поливалентных металлов и кремния; образование коллоидных систем. Сорбция ВОВ коллоидами. Модификация и ВОВ, и самих коллоидов. Активный этап (при устойчивом оглеении) "быстро" затухает из-за ухудшения инфильтрации растворов в порах.. е) Застойный (грунтовое оглеение) или периодически промывной.</p>
<p>V. Особенности почвенно-геохимической миграции продуктов почвообразования:</p> <p>а) разнообразие мигрантов и их формы, б) уровень организации процессов и дальное действие мигрантов.</p>	<p>а) Формы миграции веществ: ионно-молекулярные, органоминеральные комплексные соединения; локальный перенос тонкодисперсных частиц при дефиците ВОВ и «под защитой» ВОВ; оглеение отдельных горизонтов подзолистых почв, например, развитых на двучленах, б) Почвы таёжных экосистем и сопряженных геохимических ландшафтов; характерна дальняя водная миграция комплексных соединений.</p>	<p>а) <i>Формы миграции веществ</i> - коллоидная, органоминеральные комплексы, диффузия ионов в оглеенных горизонтах, б) <i>Глеевые горизонты</i> полугидроморфных и гидроморфных почв тайги; частичный вынос веществ-мигрантов в депрессии и в местные базисы эрозии (речные системы и озёра).</p>

сом и свойством ожидать нельзя: большинство свойств почв управляется не одним, а несколькими процессами. Изучаемые в настоящее время почвы сформировались сотни и тысячи лет тому назад. Нужно уметь выделять и отличать современные и «старые» свойства почв. Во-вторых, факторы почвообразования тесно связаны с экосистемой (её функционированием) и экологическими функциями почв (об этом речь пойдёт в следующем разделе). В-третьих, реализация триады (факторы-процессы-свойства) в ландшафтах протекает на разных уровнях структурной организации веществ (в почве и в экосистеме). При этом целесообразно изучать не только указанные уровни организации веществ, но и их приуроченность к

инертным (реликтовым) и мобильным (современным) продуктам почвообразования и антропогенеза. Среди первых в составе гумусовых веществ – это гумин и гуминовые вещества, а среди вторых – компоненты водорастворимых органических соединений: органические кислоты и фульвокислоты (ФК). Фульвокислоты в почвах лесных таежных фаций могут находиться как в форме осадков (в составе консервативного гумуса), так и в составе ВОВ. При водной миграции они принимают активное участие в трансформации веществ. Усреднённый отбор и анализ образцов почв (по традиционным методикам) оказывается недостаточно информативным. Он не учитывает всего многообразия морфонов в пределах генетических горизонтов почв и «смазывает» новые признаки и свойства. В-четвёртых, процессы почвообразования влияют на состав поглощённых катионов. В антропогенно преобразованных почвах среди поглощённых катионов, наряду с типичными, могут уже быть и элементы с высокими Кларками: Fe, Mn, Sr. Ионы тяжёлых металлов (ТМ) в настоящее время не влияют на состав поглощающего комплекса, но они активно мигрируют по трофическим цепям. Хотя вблизи промышленных объектов данное правило нарушается. В-пятых, современные почвенные процессы отражают особенности динамики и сукцессии растительных фаций, их возрастную структуру. В этой связи практически в каждой «точке» фации можно ожидать изменения свойств почвы в зависимости от их почвообразующих пород, оглеения, наследования от прошлых экосистем, ветровалов и антропогенной нагрузки. В-шестых, взгляды специалистов на сущность почвенных процессов нередко противоречивы. Так, Ф.Р. Зайдельман (1974, 2006) считает, что **глееобразование – это общий процесс**, включающий и подзолообразование. По мнению других авторов (Кауричев И.С., Яшин И.М., 1974, 1989) оглеение – элементарный процесс. Требуется разработка системы критериев их оценки. Пока их нет.

Поэтому при диагностике глее- и подзолообразования в таёжных экосистемах следует выделять следующие процессы, участвующие в дифференциации профилей почв. Это - *подстилкообразование; мобилизация из растительного опада, смывов с вегетативных органов и корневых выделений групп ВОВ с кислотными свойствами; формирование фульвокислот (ФК), а также группы гуминовых веществ в почвах с близким залеганием карбонатно-кальциевого геохимического барьера миграции; водная восходяще-нисходящая миграция веществ, вызывающая вуализацию (по Карпачевскому Л.О., 1976) верхних горизонтов подзолов и трансформацию гор. В_г; элювиально-глеевый процесс (в частности, на контакте смены пород); лессиваж; формирование иллювиально-гумусово-железистого барьера миграции в песчаных подзолах и ФК *in situ*; функционирование почвенной биоты - микроскопических плесневых грибов-кислотообразователей *Mucor, Penicillium, Aspergillus niger*.*

Эти сведения также нужно использовать при систематике почв. Нужно не стремиться к увеличению количества родов и подтипов почв, а изучать динамику почвенных процессов по сезонам года в экосистемах. **В природе много почв не бывает.**

Глава 3. Функционирование таёжных экосистем

Движущими силами трансформации веществ в почвах таёжных экосистем являются биогеохимический круговорот, кислотный гидролиз почвенных минералов и коллоидов с активным участием ВОВ и водная миграция [96, 101]. Кислотность почв таёжных экосистем обусловлена своеобразием биогенного кислотообразования, которое рассматривается нами как один из возможных механизмов адаптации биоты к суровым условиям тайги [88, 89]. Роль ионов алюминия и угольной кислоты в кислотообразовании вторична. К тому же методика определения обменной кислотности требует унификации, поскольку применение реагента KCl некорректно: мобилизация ионов Al^{3+} в почвенный раствор в подзолах тайги происходит под воздействием органических кислот и ФК. Традиционный подход определения обменного алюминия основывается на принципах химии, и приемлем для почв агроландшафтов. Для нативных экосистем тайги он оказывается не обоснованным. В усилении кислотности и миграции ионов металлов важную роль играет комплексообразование: участие в нём органических лигандов ВОВ с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами.

В экосистемах тайги экологические функции почв тесно связаны с водорастворимыми органическими веществами (ВОВ), содержащими в своём составе разнообразные органические кислоты и их соли – гетерополярные, комплексные и иные. В экосистемах тайги ВОВ выполняют следующие экологические функции: аллелопатическую, кислотную, миграционную, биохимическую, комплексообразующую, окислительно-восстановительную транслокационную и некоторые другие. С помощью ВОВ таёжная биота эффективно адаптируется к гумидным условиям существования, а *биогенное кислотообразование* и миграция веществ служат своеобразными индикаторами функционирования таёжных экосистем (Яшин И.М. с соавт. 1996). Необходимо подчеркнуть, что биодegradация ВОВ в таёжной экосистеме характеризует взаимосвязь между таёжной древесно-кустарничковой растительностью, мхами и лишайниками, с одной стороны, и *микроорганизмами* – с другой (рис.5). Начальный этап процесса гумификации растительного опада в новые органические вещества характеризуется формированием ионно-молекулярных форм ВОВ, экологически выгодных таёжной биоте. Процессы *конденсации и полимеризации* молекул ВОВ в сложные структуры сильно заторможены вследствие дефицита ионов Ca^{2+} , азота и избытка ионов водорода. Данные процессы завершаются стадией образования химически активных водорастворимых *фульвокислот* (ФК) с ярко выраженными кислотными, аллелопатическими и комплексообразующими свойствами. Молекулы ФК представляют собой *устойчивые к биодegradации компоненты ВОВ*. В их составе всегда идентифицируются комплексные Fe-органические соединения. ВОВ, таким образом, выступают важным связующим звеном между процессами *фотосинтеза и гумусообразования* в

таёжной экосистеме. Становится *более понятной картина* начального этапа таёжного гумусообразования и формирование гумусового профиля подзолов: в составе компонентов ВОВ, выщелачиваемых атмосферными



Рис. 6. Справа - сорбционный лизиметр, извлечённый из дерново-подзола на двучленах. Бурые частички – гранулы катионита КУ-2 в Н+ форме, белесые – частицы кварцевого песка, которые плотно опутаны гифами плесневых грибов-кислотообразователей; слева – профиль дерново-подзола в мае. Отчётливо видна фронтально-линзовая водная миграция ВОВ в супесчаных слоях А₁, Е и В_г; ВОВ способствуют диффузионной сегрегации конкреций Fe, Mn. (ЛОД РГАУ-МСХА; фото Яшина И.М., 2006).

осадками из лесных подстилок, уже содержатся «готовые» молекулы фульвокислот¹ как образцы структур новых мобильных органических веществ (это важно для автокаталитических реакций). Функции высокомолекулярных ГВ в таёжных экосистемах выполняют биополимеры растительного опада и лесной подстилки - лигнин, клетчатка, гемицеллюлозы и другие. В хорошо аэрируемых песчаных подзолах Европейского Севера молекулярные структуры ФК при водной миграции закрепляются и накапливаются на частицах SiO₂, покрытых плёнками гидрогелей гидроксида Fe иллювиального горизонта, в результате чего образуются подзолы иллювиально-гумусово-железистые на борových террасах рек Европейского Севера. При этом не исключена сборка молекулярных структур ФК in situ в гор. В_г. Утверждение некоторых специалистов, что ФК – это артефакт аналитического способа их выделения из почв – некорректно и противоречит генетическим свойствам подзолов тайги. В известной мере формирование молекул ФК отражает специфику самого подзолообразования в песчаных подзолах. Экологическая роль нативных ФК обоснована неполно. Индивидуальные органические вещества в составе ВОВ активно формируются при оглеении почв подзолистого типа и, по-видимому, являются «заготовками» для молекул ФК. Можно предположить, что с помощью ВОВ кодируется и передаётся по трофическим цепям генетическая информация. ВОВ участвуют в поддержании устойчивости и самоорганизации молекулярных структур гумуса почв. В этой связи фотосинтез и гумусообразование определяют динамическую устойчивость таёжных экосистем, их неравновесное состояние и развитие через флуктуации (рис.6).

¹ В отличие от ВОВ молекулы фульвокислот (ФК) более устойчивы к биодegradации. Они накапливаются при хорошей аэрации, в частности в подзолах, на иллювиально-железистом барьере миграции. В горизонте В_г содержится 1,4 – 2,7 % C_{орг} ФК или 1,4 – 2,7 г/100 г почвы. На всю массу слоя гор. В_г (360 кг/м²) мощностью 20 см масса ФК (в составе ВОВ) будет равна в среднем 7,56 кг/м². Это очень большая масса природных фульвосоединений, которые при их латеральной миграции в ландшафтах и обуславливают высокую цветность вод таёжных рек - Онеги, Сев. Двины, Мезени, Печоры, Кулоя.

Глава 4. Диагностика свойств почв таёжных ландшафтов

Исследование почв и почвенного покрова. Методика полевой почвенной съёмки весьма обстоятельно изложена в ряде учебных пособий и монографий по почвоведению (Кашанский А.Д., 1989; Мамонтов В.Г. с соавт., 2006 и др.). В этой связи методика полевого изучения морфологии почв и почвенного покрова будет рассмотрена нами кратко.

Отметим, изучение почв и ландшафтов в полевых условиях является основным источником информации об этих природных объектах. Причём, ошибки, допущенные на этапе картирования почв, выявления их генезиса и отбора почвенных образцов, в принципе не удаётся в дальнейшем исправить. Существуют определённые правила при почвенной крупномасштабной съёмке и изучении морфологии почв, которые студенты и специалисты должны хорошо знать.

При картографировании почв и оценке состояния ландшафтов изучают морфологические признаки почв (их залегание в катенах, экологических профилях и переходных зонах – экотонах), отбирают почвенные образцы для биологических и физико-химических анализов, изучают водно-физические свойства почв. Морфогенетические свойства почв исследуют по почвенным траншеям длиной 7-10 м, основным разрезам, полуямам и прикопкам. Нередко для этого используют зачистки на склонах оврагов и балок, обрывах речных и озерных террас, на стенках оросительных канав, траншей и карьеров. В последнем случае следует строго соблюдать технику безопасности работы на обрыве и подстраховку. Регулярно проводится фотосъёмка и используется диктофон при описании почвенных разрезов.

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

4.1. Общая морфология почв

Морфологическое описание генетического горизонта почвы начинается с его индексации заглавными буквами (A₀, A, EL, EL/B, B, BC, C, D), взятия

почвенного мазка для дневника, уточнения мощности и других признаков. Индексы почв (А, В, С) предложил основоположник научного почвоведения В.В. Докучаев. Каждый горизонт состоит из морфонов. Унификация индексов почв и таксономии в почвоведении продолжается и в настоящее время (Шишов Л.Л., Добровольский Г.В., 2000, 2004), сообразуясь с опытом и достижениями ведущих почвенных школ Мира (США, Франция, Австралия, Япония...). Индексы генетических (или иных) горизонтов отражают степень проявления тех или иных мезо- и макропроцессов и явлений: торфонакопление, гумусово-аккумулятивный, элювиальный, элювиально-глеевый, глеевый, элювиально-иллювиальный, пойменный, золовый, соленакопление и т.д. В этом случае добавляются мелкие латинские буквы к основным индексам, например V_{th} . Данный индекс расшифровывается так: горизонт иллювиально-гумусово-железистый.

Охарактеризуем профили почв тайги с помощью почвенных индексов*:

A_0 – лесная подстилка;

A_0^T – оторфованная лесная подстилка (если её мощность более 10 см, то почвы диагностируются как болотно-подзолистые).

T – торфяной горизонт разного генезиса (и зольности) и разной степени трансформации, диагностируемый в торфяных и болотных почвах.

A_d – дернина (поверхностный горизонт с корнями травянистой растительности);

A_1 – гумусово-аккумулятивный горизонт,

$A_{пах}$ (р) – пахотный горизонт в почвах агроландшафтов.

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

B – иллювиальный, нередко дифференцирован на B_1, B_2, \dots

$B_{(h)}$ – иллювиально-гумусовый и $B_{(f)}$ – иллювиально-железистый, но чаще $B_{(hf)}$ – иллювиальный гумусово-железистый в альфе-гумусовых песчано-супесчаных подзолах подзон средней и северной тайги европейского Севера.

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

К морфологическим признакам почв, помимо мощности и выраженности границ между горизонтами (ровная граница свидетельствует о слабой межгоризонтной взаимосвязи, искусственном или аккумулятивном их генезисе и реликтовости), относятся: гранулометрический состав, цвет, влажность, структура, сложение, плотность, *новообразования* и включения,

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

характер распространения корневых масс растений, мерзлота, наличие ходов роющих животных (что особенно типично для ландшафтов степей и саванн).

Цвет описывают словами. Часто окраска структурных отдельностей неоднородная: пятнистая, мраморовидная, полосчатая. Важно оценить цвет почвы после высыхания. Тогда чётче проявляются особенности засоления, оподзоливания и оглеения. Например, цвет морены в Подмоскowie красновато-бурый. Один и тот же цвет может быть обусловлен разными почвенными процессами. Так, например, белесый цвет мелкозёма отражает особенности засоления, оподзоливания, оглеения, лессивирования, осолодения, окарбоначивания, загипсовывания и др. Следует учитывать генезис почв их ландшафтное и географическое положение: зоны тайги, полупустыни, субтропиков... Красный и желтый цвета обусловлены процессами рубefикации, ферралитизации, латеризации, криогенезом. При оглеении проявляются сизый, зеленоватый и синий (осадки вивианита) тона. Точная и быстрая диагностики цвета почвы проводится с помощью специальной шкалы Мансела, оформленной в виде красочного альбома. Однако со временем цвета в альбоме становятся блёклыми и точная оценка цвета почвы затрудняется. Поэтому сейчас переходят к компьютерной диагностике цвета (Савич В.И. с соавт, 2006).

Структура почвы обусловлена ее генезисом и особенностями использования. Способность почвы распадаться при небольшом воздействии на отдельные агрегаты характеризует ее структурность. Выделяются (по Захарову С.А.) 11 типов структур почвы: кубовидная, глыбистая, комковатая, ореховидная, зернистая, призматическая, столбчатая, плитчатая, чешуйчатая, мучнистая. Часто употребляют переходные типы: ореховато-призматическая, комковато-зернистая и др. Форма почвенных агрегатов (пéдов) характеризуется выраженностью (и размерами) граней и ребер. Плохо сформированные педы с неясно выраженными и равными по трём осям граней (> 5 см) свойственны глыбистой и крупно комковатой структуре.

Сложение почвы характеризуется ее порозностью (соотношением различных по величине пор) и трещиноватостью. Размеры пор тесно связаны с генезисом почв и поэтому являются важным диагностическим признаком. Они определяют особенности водной внутрипочвенной миграции веществ в генетических горизонтах жидких и газообразных химических соединений. Сложение может быть слитое, крупнопористое, ячеистое, губчатое, слоеватое (очевидно, обусловленное деятельностью льда и боковой внутригоризонтной миграции воды и растворенных в ней веществ).

Влажность почвы зависит от географического местоположения разреза, генезиса почв, гранулометрического состава и иных факторов. Степень влажности генетических горизонтов определяется следующими признаками: сухая почва – пылит, если глинистая – очень плотная, а песок становится сыпучий; свежая почва – не пылит, слегка холодит руку, глина не скатывается, а песок – слабо связан; влажная почва сжимается в комки, увлажняет бумагу; сырая – прилипает к руке, смачивает бумагу.

Суглинистые и глинистые разности хорошо скатываются в шнур; мокрая почва – по стенкам почвенного разреза сочится вода (торфяники, дерново-глеевые и болотно-подзолистые почвы).

Плотность зависит от гранулометрического состава, влажности и других факторов. Приняты следующие градации плотности почв: рыхлая – почвенный нож легко погружается в генетический горизонт, слабо уплотненная – легко копается лопатой, нож свободно входит на несколько сантиметров, плотная – почва с трудом копается, нож входит на 0,5 см с большим трудом, слитая – почву приходится долбить ломом или киркой, нож не входит в почвенную массу, а острие ножа оставляет на фронтальной стенке разреза черту с глянцевыми краями.

Новообразования – морфологически выраженные выделения и скопления новых веществ в мелкоземе, отличающиеся от него по химическому составу, сложению и являющиеся следствием реальных современных (и прошлых) процессов почвообразования. Новообразования формируются с участием биогенных, химических или физико-химических (с участием сорбционных процессов) реакций и процессов. Они являются важным диагностическим признаком. Пленки известны для кремнистых, глинисто-гумусовых и железисто-марганцевых выделений. Конкреционные формы наиболее типичны для CaCO_3 (белоглазка, дутики, журавчики, желваки, лёссовидные «куколки»), для Fe-Mn выделений (ортштейны, ортзанды, рудяковые зерна – бобовины и желваки). Конкреционно-корковые новообразования типичны для Fe-Mn форм (бобовая руда, жерства, ортштейн...). Корковые выделения свойственны, в основном, Fe-Mn и кремнистым новообразованиям (корки, прослойки, натеки). Для генетической интерпретации морфологии почв и почвенного профиля целесообразно использовать сочетание визуального (полевого) и химико-аналитического подходов.

В полевой обстановке (на точках наблюдения) дается полевое название почвы с указанием гранулометрического состава и почвообразующей породы. Затем в камеральный период оно уточняется. Поправки вносят в индексы почв, подготавливая окончательный вариант почвенной крупномасштабной карты.

Характеристика рельефа. В полевом дневнике или специальном ландшафтном бланке диагностируется общая оценка макрорельефа, например – холмисто-увалистая слаборасчлененная моренная равнина, фиксируется на картоснове точка наблюдения, приуроченная к конкретному элементу мезорельефа (поверхность плакора, водораздел междуречья, вершина моренного увала, верхняя треть склона увала С-З экспозиции, пойма реки, речная или озерная терраса, дно балки, склон карстовой воронки...). Отмечаются особенности склонов, их протяженность, формы и эродированность. Склоны (в градусах) дифференцируются: очень пологие (уклон $< 3^\circ$), пологие ($3-5^\circ$), слабо покатые ($5-10^\circ$), покатые ($10-15^\circ$), сильнопокатые ($15-20^\circ$), крутые ($20-45^\circ$), обрывы ($> 45^\circ$), по Жучковой, 1977, с. 41. Указывается абсолютная высота точки (например, 140 м над у. м.) и

относительный перепад высот, исходя из маршрутного профиля. Описывается поверхность, вид эрозионных малых форм (промоина, ложбинка, овражек), наличие карста, размеры воронок и колодцев.

Изучение почвообразующих и подстилающих пород проводится в естественных обнажениях и искусственных выемках: шурфах, канавах, котловинах и карьерах. Обращается внимание на генезис пород и кор выветривания. Отмечается тип коренных пород – осадочные, магматические, метаморфические. Описывают текстуру (сложение), структуру слагающих породу минералов, цвет, ожелезнение, отмечают степень их слоистости. При диагностике рыхлых почвообразующих пород указывают их генезис – делювиальные, флювиогляциальные, озерные, ледниковые, лёссовидные (и покровные) суглинки; особенность сортировки мелкозема, включения, наличие камней, щебня (их размер, окатанность, карбонаты кальция). Интерес представляют археологические находки. Описание почв, пород и обнажений целесообразно сопровождать зарисовками или фотосъемкой (видеосъемкой).

Почвенно-экологическая и ландшафтная съемки проводятся с помощью следующих методов: маршрутного, комплексного ландшафтного профилирования и закладки «ключей».

Ключевой метод дает ценную информацию при проведении средне- и мелкомасштабной съемки. «Ключи» выбираются по характерному сочетанию разных видов фаций и урочищ. Этот прием полевого картирования ландшафтов представляет собой сочетание методов опорного ландшафтного профилирования, маршрутных наблюдений и исследований на точках наблюдений: на «ключях» все картографические работы осуществляются в более крупном масштабе, чем на остальной площади. Рабочие маршруты на ключевых участках, как правило, пересекают, контуры, выделенные на предварительной карте-гипотезе. При крупномасштабной съемке «ключей» проводится *сплошное ландшафтное картирование*, а при среднемасштабной – сеть маршрутов разрежена. В этом случае широко используется *метод экстраполяции результатов наблюдений* на аналогичные фации. Таким образом, съемка в крупном масштабе базируется на методах опорного ландшафтного профилирования и детальных маршрутных изысканиях. Допустимая погрешность нанесения на карту границ фаций составляет обычно 2 мм (в М 1:10 000 – это ± 20 м на местности).

При разных масштабах ландшафтной съемки достаточность точек наблюдений корректируется категорией сложности изучаемой территории. Частая смена двух и более факторов в пространстве (в зоне тайги – это рельеф и породы) определяет заметное разнообразие морфологической структуры ландшафтов и их мелкоконтурность. Аналогичные особенности присущи также горным, пойменным и дельтовым ландшафтам крупных рек.

Ландшафтная съемка в горах (например, в Республике Тыва) усложняется высотной поясностью, поэтому одновременно приходится анализировать площадную и высотную структуру ландшафта.

4.2. Систематика материалов полевых работ

При длительных полевых изысканиях (несколько месяцев) составляется полевой вариант *почвенной или ландшафтной карты*. Он вычерчивается или на картоснове (фотопланах, топооснове), или на кальке. Переносить весь объем картографического оформления полевой карты на завершающий этап нерационально: заметная часть фактической информации будет упущена. Поэтому *рекомендуется ежедневно* (по окончании маршрутных изысканий и возвращения на базу) наносить на картоснову границы фаций, номера «ключей», маршрутные линии (ходы), точки разрезов, а в полевом дневнике дооформлять выявленные особенности состояния и структуры ландшафтов.

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

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

Ландшафтные и почвенные карты имеют важное научное и практическое значение. Они необходимы в агроэкологии, земледелии, мелиорации, землеустройстве, лесной таксации, экологическом картировании территорий, при проектировании размещений промышленных предприятий.

В прикладных изысканиях, проводимых на ландшафтной основе, осуществляют инвентаризацию природно-территориальных комплексов, их оценку и прогноз изменений при антропогенных нагрузках (А.Г. Исаченко, 1980). В частности, ландшафтные оценочные исследования для сельского хозяйства имеют очень важное значение, поскольку эти материалы необходимы при разработке адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Географические комплексы оцениваются по обеспеченности территории (и почв) в период вегетации теплом и влагой, податливости почвенного покрова к эрозии, оптимальному сочетанию сельскохозяйственных культур в севообороте. Результатом оценочных работ геокомплексов для сельского хозяйства является *ландшафтная оценочная карта с аэроландшафтными выделами*, которые отражают их почвенно-географические особенности и специфику использования (в земледелии, животноводстве).

Глава 5. Генетическая таксономия почв тайги

5.1. Тип подзолистые почвы (индекс на карте П)

Почвы подзолистого типа составляют основу лесного и аграрного земельных фондов России. Формируются подзолистые почвы в гумидных ландшафтах Европейского Севера (в подзонах средней и южной тайги) под хвойными и мелколиственно-хвойными лесами с кустарничково-моховым покровом, при промывном типе водного режима, на бескарбонатной морене и флювиогляциальных отложениях в автономных условиях. В пределах, например Каргопольской суши Архангельской области, среди подзолистых почв, подзолов и болотно-подзолистых почв встречаются интразональные дерново-подзолистые остаточнок-карбонатные почвы, вскипающие в гор. С_{са}. Профили почв подзолистого типа образовались сотни лет тому назад в результате совместного проявления биогеохимического круговорота веществ в экосистемах тайги, кислотного гидролиза почвенных минералов, лессиважа, элювиально-глеевого процесса при ярком дефиците в лесном опаде ионов кальция и соединений азота. Важную роль в дифференциации профилей подзолистых почв играет нисходящая (и латеральная) водная миграция продуктов почвообразования в условиях очень кислой реакции. С помощью метода сорбционных лизиметров и радиоактивных индикаторов (Кауричев И.С., Кашанский А.Д., Яшин И.М. Карпучин А.И., Кащенко В.С., 1972, 1975, 1986, 1993, 1996, 2003) авторам удалось установить масштабы и формы миграции некоторых продуктов почвообразования, направленность трансформации растительного опада, образование ФК и выявить их роль в почвенно-геохимических процессах. Указанные исследования проводились в Архангельской области, Республиках Коми и Карелии и других регионах. Наряду с полно профильными подзолистыми почвами в ландшафтах тайги можно встретить *трансформированные профили* на участках ветровалов и вырубков, укороченные (эродированные) и мозаичные аналоги. Наиболее трудными для диагностики являются профили почв, расположенные в экотонах (переходных точках между ЭПА), а также почвы, расположенные в нижней 1/3 склонов холмов и увалов, где происходит разгрузка мигрантов. Здесь ярко выражена диффузия и оглеение всего профиля, поэтому диагностика генетических горизонтов затруднена (рис. 2, справа).

Полная схема генетических горизонтов, свойственная таёжным (лесным) подзолистым суглинистым почвам, развитым на покровных суглинках, имеет следующий вид: $A_0 - A_0/A_1 - EL - EL/B - B (B_1, B_2) - B/C - C$. Индекс A_2 не употребляем, поскольку символ «А» означает аккумуляция веществ.

Индекс почвы в контуре почвенной карты и в легенде – П₃ с П.

Расшифруем значения индексов по генетическим горизонтам этой почвы: $A_0(O)$ – лесная подстилка; бывает оторфованная A_0^T , мощность от 2 до 10 см. Может быть дифференцирована на *три подгоризонта*: торфяный, торфяно-перегнойный и перегнойный. Строение лесной подстилки отражает залега-

Образец бланка описания почвенного профиля (1-я страница)

Почвенный разрез (полюяма) № _____		Пункт заложения:	
Угодье и его состояние (культура, засоренность, растительный покров):			
Состояние поверхности почвы, проявление эрозии:			
Макрорельеф:			
Мезорельеф:			
Микрорельеф:			
НАЗВАНИЕ ПОЧВЫ: полевое			
окончательное			
Почвообразующая и подстилающая породы:			
Глубина (СМ)		Глубина верхней и нижней границы, СМ	
разреза	скважины	Скопление СаСО ₃	
		Вскипание	форма
		слабое	сильное
		Лепкорастворимые соли	Гипс
		Железистые выделения	Пятна оглеения
		Глеевый горизонт	Глубина залегания и минерализация грунтовых вод
Производственная характеристика и рекомендуемое использование:			Дата и подпись ландшафтоведа:

Образец бланка описания почвенного профиля (2-я, оборотная, страница бланка)

<u>Морфологическое строение и описание почвенного профиля:</u>									
Мазки, или зарисовка профиля	Генетические горизонты, глубины залегания, см	Влажность	Цвет	Гранулометрический состав	Структура	Сложение и плотность	Новообразования и включения	Характер перехода в нижний горизонт	Глубина изъятия образцов, см
	$A_0 \frac{0-4}{4}$								
	$A_2 \frac{4-23}{19}$								
	$A_2B \frac{23-74}{51}$								
	$B_g \frac{74-93}{19}$								
	$BC \frac{93-117}{24}$								
	$C_{(k)} \frac{117-149}{32}$								
<u>Описания прикопок и межпунктное описание:</u>									

ние подзолистой почвы в рельефе – от плакора к подошве склона и меж увалистому понижению.

A₀A₁ – прототип гумусово-аккумулятивного горизонта мощностью 3-9 см. В подзолистых почвах гумусово-аккумулятивный горизонт не образуется.

EL - элювиальный (суглинистый *подзолистый*) горизонт: чаще белёсый с сероватым и палевым оттенками (маскируется компонентами BOB и соединениями Fe); *плитчатый, листоватый или мучнистый* (остаётся только SiO₂ при сильном кислотном гидролизе почвенных минералов); в слабоподзолистых почвах данный горизонт **EL₁** выражен в виде отдельных чётких белёсых пятен, в средне- и сильноподзолистых аналогах **EL₂, EL₃** – сплошной, мощностью 10-20 см и более.

EL/V – элювиально-иллювиальный – горизонт подзолистых «языков»; белёсо-красноватый, плитчато-ореховатый, мощностью 10-40 см.

B – иллювиальный горизонт – самый плотный в профиле, красновато-бурый, часто ореховато-призматический; на поверхности педов (структурных отдельностей) тёмно-бурые плёнки (кутаны), возможна также белёсая присыпка; вследствие текстурной дифференциации почвенной массы подразделяется на B₁, B₂; мощность сильно варьирует от 25 до 85 см.

B/C – переходный к почвообразующей породе горизонт: менее плотный, чем предыдущий, глыбисто-призматический, по граням педов светло-бурые плёнки, переход постепенный.

C – почвообразующая порода – покровные бескарбонатные суглинки, на границе с гор. B/C, слабо изменённые процессами почвообразования. Мощность почвенного профиля варьирует от 1,5 до 2,5 м. От 10% водного раствора HCL вскипание по всему профилю отсутствует.

Среди почв подзолистого типа в зоне тайги отмечены следующие подтипы:

1. Глееподзолистые – приурочены к подзоне северной тайги,
2. Подзолистые – распространены в подзоне средней тайги,
3. Дерново-подзолистые – формируются, главным образом, в подзоне южной тайги *под травянистыми лесами* (ранее, возможно, они были под пашней) и, как интразональные почвы, в северных ландшафтах тайги - при близком (в пределах 45-62 см) залегании известняков и доломитов (*Каргопольская сушь, Плесецкое плато*), а также на огородах; их диагностируют как остаточно-карбонатные почвы.

В пределах каждого из вышеназванных подтипов выделяются следующие роды подзолистых почв:

1. Обычные – морфология и схема горизонтов рассмотрены ранее,
2. Контактно-глееватые – характерны для почв с двучленным сложением,

3. Иллювиально-железистые – типичны для песчаных подзолов,
4. Иллювиально-гумусово-железистые – также характерны для подзолов, приуроченных к окрайкам болот,
5. Иллювиально-гумусовые – что и предыдущий род, но в них отмечается аккумуляция значительных масс фульвокислот и Fe-ФК комплексных соединений в иллювиальном горизонте. Индекс V_h ,
6. Слаборазвитые – молодые и неполно профильные (слабо дифференцированные почвы).

Подзолистые почвы дифференцированы *на виды* по мощности подзолистого горизонта (см. выше). Разновидности подзолистых почв подразделяются по гранулометрическому составу. В крупных западинах встречаются подзолисто-глеевые почвы ПГ с ярко выраженным оглеением профиля и четко выраженным глеевым горизонтом **Г**. Такие почвы обычно имеют суглинистый гранулометрический состав, небольшой объем пор и отличаются неудовлетворительной фильтрацией влаги. Они быстро заболачиваются, превращаясь в болотно-подзолистые почвы.

Рассмотрим схемы горизонтов подзолистых почв по подтипам:

1. Профиль подзола иллювиально-железистого песчаного на флювиогляциальных отложениях. Индекс почвы на карте - $П^ж$ и **В**. Такие почвы приурочены к борovým террасам крупных северных рек, озам, камам и друмлинам. Ниже представлены индексы горизонтов:

В хвойном лесу: $A_0^T - E - V_f - V_2 - V/C - C$; горизонт V_f может быть и псевдо фибровый в виде ортзандовых плиток из $Fe(OH)_3$ и Fe_2O_3 .

На лугу (выгон): $A_d - E - V_f - V_2 - V/C - C$,

На пашне (после сведения леса): $A_p - E (E/V) - V_f - V_2 - V/C - C$. Пахотный горизонт состоит из сложной смеси органогенного субстрата лесной подстилки и веществ подзолистого горизонта. Понадобится много времени с использованием средств химизации и травосеяния для превращения данной не плодородной смеси в пахотный горизонт с благоприятными химическими свойствами. *На пашне к индексу подзола добавляется буква А*. Почва – агроподзол (по классификации 2004). *Ранее такие почвы диагностировались как осваиваемые, освоенные и окультуренные (слабо, средне и сильно), а также культурные аналоги (дерново-подзолистые почвы садовых и огородных участков)*. При таком подходе заметна роль земледельцев.

2. Профиль подзола иллювиально-гумусового имеет похожее строение, что и предыдущая почва, но отличается присутствием в профиле иллювиально-гумусового горизонта V_h . Приурочен к окрайкам болот.
3. Профиль подзолистой почвы, развитой на двучленных отложениях. Индекс почвы на карте: $П_2^{к-г}$ и **ДЧ**. Набор генетических горизонтов:

в лесу: $A_0^{III} - E - B_f$ (песок, супесь) – $EL'_g - EL/B - B_2 - B/C - C$ (тяжелый суглинок).

на лугу (выгон): $A_d - A_0/A_1 - E - B_f - EL'_g - EL/B - B_2 - B/C - C$.

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

Подзолистая почва на двучленах состоит из двух разнокачественных по генезису и гранулометрическому составу микро профилей: *верхнего мини подзола*, который вложен в текстурно дифференцированный профиль тяжёлого суглинка. Эти два наноса соприкасаются через контактно-глееватый (контактно-осветлённый) горизонт EL'_g . Здесь часто возникает сезонное избыточное переувлажнение. На склонах увалов по данному горизонту наблюдается *латеральная водная миграция веществ*. Мощность контактно-оглеенного горизонта постепенно возрастает. Наиболее активно процессы почвообразования протекают в мини подзоле.

5.2. Подтип глееподзолистые почвы (индекс на карте Пг)

Формируются под северо-таёжными редкостойными еловыми лесами с моховым и мохово-кустарничковым покровом преимущественно на бескарбонатных суглинистых почвообразующих породах (Яшин И.М., Кащенко В.С., 1983 - 1986). Профиль глееподзолистой среднесуглинистой почвы сильно оглеен в верхней части, имеет хорошо развитую оторфованную лесную подстилку, гумусово-аккумулятивного горизонта нет. Мигрируемые **из гор.** A_0^{III} компоненты ВОВ, могут временно прокрашивать в серый цвет оглеенный подзолистый горизонт, залегающий под лесной подстилкой. **Поэтому выделять гор. A_1 не рекомендуется.** Подзолистый горизонт EL_g окрашен в белесо-серовато-сизый цвет и имеет мощность 3-17 см. Компоненты ВОВ и Fe-органические комплексные соединения активно мигрируют в песчано-супесчаных глееподзолистых почвах, накапливаясь в гор. B_{fl} . Мощность почвенного профиля достигает 85-100 см.

Полная схема генетических горизонтов, свойственная северо-таёжным (лесным) глееподзолистым суглинистым почвам, развитых на покровных суглинках, имеет следующий вид: $A_0 - Elg - EL/Bg - Bg - B/Cg - Cg$. Ещё раз отметим отсутствие в профиле этих почв горизонтов A_0/A_1 , A_1 и A_1/EL ; от 10% водного раствора НСL не вскипают.

Выделяют следующие роды глееподзолистых почв:

- контактно-осветленные (на двучленных породах), индекс $Пг^{к-г}$ п ДЧ,
- иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые (на древнем аллювии и водно-ледниковых породах), индекс $Пг^{ж}$ АД (В),
- псевдофибровые (на древнем аллювии и водно-ледниковых породах), индекс $Пг^{пф}$ АД (В),
- слабо дифференцированные, индекс $Пг^{сд}$ АД (В).

Виды глееподзолистых почв выделяются по степени оподзоленности и глубине оподзоливания. По степени оподзоленности:

- Глее слабоподзолистые (индекс ПГ₁), гор. **ЕL** в виде пятен,
- Глее среднеподзолистые (индекс ПГ₂), гор. **ЕL** мощностью 5-15 см.
- Глее сильноподзолистые (индекс ПГ₃), гор. **ЕL** мощностью 15-25 см.

По глубине оподзоливания (на примере слабо глееподзолистой почвы):

- Глее поверхностно-подзолистые (индекс ПГ_{1/1}),
- Глее мелкоподзолистые (индекс ПГ_{1/2}),
- Глее неглубокоподзолистые (индекс ПГ_{1/3}),
- Глее глубокоподзолистые (индекс ПГ_{1/4}).

Указанные названия добавляются к соответствующим родам и видам глееподзолистых почв.

5.3. Подтип подзолистые почвы (индекс на карте П)

Подзолистые почвы формируются главным образом в ландшафтах средней тайги Европейского Севера. В подзоне южной тайги они развиваются под кронами зрелых елей, причём здесь образуется комплексный почвенный покров, поскольку в межкроновых пространствах залегают дерново-подзолистые почвы.

Для лесных подзолистых почв характерны следующие особенности: значительная мощность профиля (до 150 см), его чёткая дифференциация на генетические горизонты (**A₀ – A₀/A₁ – (A₁EL) – EL – EL/B – B – B/C – C**), почти полное отсутствие в почвах плакоров признаков оглеения и очень слабая выраженность гор. A₁ (вместо него сразу под лесной подстилкой обычно присутствует небольшой по мощности гор. A₀A₁ – 2-4 см). Горизонт **EL** часто пропитан компонентами ВОВ и окрашен в серовато-белёсый цвет и его нередко ошибочно выделяют как гумусово-аккумулятивный. Последний, как правило, характерен для почв южной тайги и имеет комковатую структуру. Гор. **EL** в подзолистых почвах имеет плитчатую, плитчато-листоватую и листоватую структуру. Его мощность может превышать 20 см.

Строение профиля и схема генетических горизонтов подзолистых почв были даны ранее. Выделяются следующие рода: обычные (на суглинистых породах), контактно-глееватые, иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые и слаборазвитые (слабо дифференцированные).

По мощности *подзолистого горизонта* выделяются следующие виды:

- слабо подзолистые - гор. **EL** пятнами или не более 5 см (индекс П₁),
- средне подзолистые – гор. **EL** плитчато-пластинчатый 5-15 см (индекс П₂),
- сильно подзолистые – гор. **EL** листоватый 15-25 см (индекс П₃),
- глубоко подзолистые – гор. **EL** мучнистый более 25 см (индекс П₄).

Слаборазвитые подзолистые почвы развиваются как на глинах (в Карелии на ленточных глинах), так и на песках.

5.4. Подтип Дерново-подзолистые почвы (индекс П^д)

Формируются преимущественно под южно-таёжными смешанными лесами с травянистым покровом (рис. 7).

В автономных ЭГЛ профиль не оглеен. Полная схема генетических горизонтов, свойственная южно-таёжным (лесным) дерново-подзолистым суглинистым почвам, развитым на покровных суглинках, имеет следующий вид: **A₀ – A₀A₁ – A₁ – A₁EL – EL – ELB – B – BC – C**. Рассмотрим их морфологию.



Рис. 7. Профиль пахотной дерново-слабоподзолистой окультуренной почвы на плакоре увала в учхозе «Дружба» Ярославской области; *при полевой диагностике почв почвенный разрез должен быть примерно таким* (фото Яшина И.М., 2009).

А. Лесные дерново-подзолистые почвы

Ниже приведены индексы генетических горизонтов подобной почвы:

A₀ – растительный опад и слабовыраженная лесная подстилка 2-3 см,

A₀A₁ – органогенный субстрат почти сливается с гор. **A₁** 1-3 см,

A₁ – гумусово-аккумулятивный горизонт, чётко выраженный, светло-серый (в сухом состоянии), непрочно-мелкокомковатый, легкосуглинистый, слабо уплотнённый, интенсивно пронизан корнями, мощностью 3-19 см,

(A₁/A₂) – нетипичный и нечасто встречающийся горизонт мощностью 1-3 см,

EL – чётко выраженный, белёсый с сероватым оттенком, плитчато-пластинчатый, мощностью 5-27 см,

EL/B – элювиально-иллювиальный, ореховато-плитчатый, «языковатый» мощностью 10-39 см и более,

B – красновато-бурый, ясно выраженный, очень плотный (особенно при подсыхании), ореховато-призматический мощностью 30-75 см,

В/С – переходный к породе, глыбисто-призматический, очень плотный мощностью 15-45 см,

С – почвообразующая порода, почти не затронутая почвенными процессами.

В зависимости от характера почвообразующей породы изменяется гранулометрический состав почвы: на древнем аллювии и флювиогляциальных наносах формируются дерново-подзолистые иллювиально-железистые почвы и дерново-подзолы. Иллювиальный **горизонт В_f** обогащён соединениями железа - $Fe(OH)_3$, рис.8. Являясь весьма емким сорбционным барьером миграции, соединения Fe в этом горизонте активно поглощают мигрирующие в профиле подзолов фульвокислоты и ВОВ. Со временем возможна трансформация иллювиально-железистого подзола в иллювиально-гумусово-железистый подзол. С геохимической точки зрения подобные почвы удобно использовать в качестве маркеров миграции экотоксикантов, например, ионов тяжелых металлов.



Рис. 8. Профиль подзола иллювиально-железистого песчаного, развитого на двучленных отложениях; плакор мореного увала в лесопарке Петрозаводска Карелия; в профиле видны два элювиальных горизонта: под лесной подстилкой и на контакте смены пород (фото Яшина И.М., 2008).

В. Пахотные дерново-подзолистые почвы

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

Полная схема пахотных дерново-подзолистых почв группы «А» (рис. 7):

А_{пах} – EL – ELB – В – ВС – С

А_{пах} – новообразованный пахотный горизонт, состоит из гор. А₀, А₀А₁ – А₁ – А₁EL, присущих лесным аналогам, нередко к ним припахивается и гор. EL, поэтому уровень плодородия крайне низкий, а агрономические свойства

неблагоприятные для с.-х. культур: сильно кислая реакция, очень низкое содержание доступных форм элементов питания и др. Непрочно комковатый, слабо уплотнённый, светло серый,

EL - при окультуривании подзолистый горизонт «погружается» в подпахотный, где выражен локально в виде пятен (заклинков) или небольшого сплошного горизонта мощностью 1-7 см,

EL/B – нередко представлен «языками», белёсо-бурый, плитчато-ореховатый, почти не отличается по свойствам от горизонта лесной почвы.

B, BC и C практически полностью сохраняют свойства лесных аналогов.

Полная схема пахотных дерново-подзолистых почв группы «B»:

A_{пах} – (EL) – B – B/C – C

Горизонты, указанные в скобках, не обязательно присутствуют в профиле. Дерново-подзолистые почвы группы «**B**» характерны для эродированных аналогов и приурочены к склонам холмов и увалов. При эрозии пахотный горизонт постепенно уменьшается, при этом припахиваются нижние горизонты **EL, EL/B**. В результате гор. **A_{пах}** залегает на горизонте **B** (рис. 9).

В межувалистых понижениях и депрессиях рельефа, где скапливается избыток влаги, в дерново-подзолистых почвах проявляется оглеение в форме примазок и конкреций Fe, Mn.

Выделяются следующие аналоги **оглеенных почв**:

- **слабо оглеенные** – в профиле незначительное количество пятен оглеения,
- **поверхностно-глееватые** – проявляется в поверхностных горизонтах в форме ржаво-охристых и сизых пятен, примазок по граням педов (к букве прибавляется **g**),
- **поверхностно-глеевые** – сильно оглеенные элювиально-иллювиальные горизонты профиля ,
- **грунтово-глееватые** – слабое оглеение проявляется в горизонтах B и C,
- **грунтово-глеевые** – сильно оглеены гор. **B, B/C, C** (к индексу прибавляется буква **G**).

5.5. Тип Дерново-подзолистые окультуренные почвы (агротемы по классификации 2004), индекс П^{дк}

Среди окультуренных почв подзолистого типа наиболее типичными являются дерново-подзолистые.

Подтипы подзолистых и глееподзолистых почв не могут приобретать свойства окультуренных аналогов вследствие лимитирующих ландшафтно-экологических условий. Окультуренные дерново-подзолистые почвы формируются небольшими массивами в агроландшафтах при длительном и интенсивном улучшении гумусового, пищевого и водно-воздушного режимов. Важную роль играет травосеяние, использование мелиорантов и удобрений. Обычно такие участки приурочены к садово-огородным ландшафтам. Данные массивы мелко контурные, а почвы – наиболее плодородные.

Иногда почвоведы, обнаружив при почвенном картировании мощные пахотные горизонты, *стремятся выделить новый тип почв* – серые аналоги.



Рис. 9. Профиль сильно окультуренной дерново-подзолистой почвы. Плакор увала; учхоз «Дружба», участок вблизи д. Михалево Ярославской области (фото Яшина И.М., 2009).

Забывая, что они формируются не за счет окультуривания дерново-подзолистых лесных почв, а сформировались в нативных широколиственных лесах на высоко карбонатных породах.

В профиле окультуренных почв подзолистый горизонт сильно трансформирован и припахан к $A_{пах}$. Система горизонтов в профиле такой почвы следующая : $A_{пах}^k - B - B/C - C$.

Мощность гор. $A_{пах}^k$ **более 30 см**, в нём выражена плотная *плужная подошва*. При сведении лесных массивов появляются осваиваемые и освоенные дерново-подзолистые почвы. Окультуренные аналоги образуются через 40-50 и более лет при системном окультуривании почвенного покрова и использовании рекомендаций Агрохимической службы РФ (созданная в 1964 году, Федеральная агрохимическая служба России «выполнила свои задачи» и была почти расформирована почему-то через 40 лет).

К сожалению, в новой классификации почв России специалисты не учли уровень окультуривания почв, а это обесценивает важную работу земледельцев. Становится неопределенным эффект от применения удобрений и мелиорантов, если не проводить агрохимический мониторинг.

Термин «агрозем» не имеет смысловой нагрузки, как и термин «поле».

5.6. Тип Болотно-подзолистые почвы (индекс П_б)

Распространены в таёжной зоне, в понижениях рельефа, где скапливается избыток влаги, способствующей масштабной мобилизации ВОВ. Формируются под заболоченными хвойными лесами, часто по окрайкам болот, а также в межувалистых котловино-образных депрессиях. Устойчивое сезонное переувлажнение профиля слабо минерализованными водами

вызывает поверхностное или грунтовое оглеение. При длительном застое природной почвенной влаги отмечается развитие в профиле глеевого горизонта G, мощной оторфованной лесной подстилки и чётко выраженного (при подсыхании) белёсо-сизого подзолистого горизонта. Полная схема горизонтов болотно-подзолистой почвы следующая:

$A_0^{III} - EL_g - V_g - V/C_g (G) - C_g$.

Рассмотрим кратко морфологические особенности горизонтов.

$A_0^{III}(O^{III})$ – оторфованная лесная подстилка, состоящая обычно из 3-х подгорizonтов: очёса из живых мхов, торфяного и торфяно-перегнойного. В зависимости от подтипа её мощность варьирует от 10-20 см у торфянисто-подзолистых и от 20 до 30 см у торфяно-подзолистых почв. Гумусово-аккумулятивный горизонт в профиле отсутствует вследствие кислотного гидролиза ВОВ.

EL_g – подзолисто-глееватый (или подзолисто-глеевый), белёсо-сизый, содержит много мягких мажущихся Fe-Mn конкреций, ржаво-охристых примазок и даже ортштейнов, заметно уплотнён, структура неясная или пластинчатая; мощность варьирует от 5 до 40 см (с максимумом у торфяно-глеевых аналогов).

V_g – иллювиально-оглеенный (или глеевый G при поверхностном избыточном увлажнении), признаки оглеения ярко выражены в форме ржаво-охристых примазок и мажущихся конкреций, вязкий, плотный, глыбисто-призматический, мощностью 25-35 см.

V/C_g – переходный к породе (часто глеевый G при грунтовом переувлажнении), сильно оглеенный водоупорный горизонт, очень плотный, вязкий, липкий, обилие конкреций, ржаво-охристых примазок и ортштейнов.

$C_{(g)}$ – почвообразующая порода; при поверхностном переувлажнении признаки оглеения выражены слабо или даже отсутствуют (особенно на карбонатно-кальциевом барьере миграции); при близком залегании грунтовых вод и появлении верховодки порода сильно оглеена, вязкая, глыбистая, копается с большим усилием.

Поскольку в профиле болотно-подзолистой почвы устойчиво выражено переувлажнение, генетические горизонты оказываются «размытыми» вследствие активной водной миграции ВОВ и органико-минеральных соединений, а также диффузии. В ряде горизонтов чётко проявляется активная аккумуляция соединений Fe, Mn Si, AL. Она указывает на периодическую смену условий увлажнения высыханием. Данные химические элементы могут мигрировать в профиле и в ЭГЛ в форме коллоидов, увлекая с собой ионы различных металлов, например, **Cd, Pb, Zn, Co, Be, TL, Sr, Ba**, а также молекулы органических веществ.

При освоении эти почвы нуждаются в регулировании водного режима. Наиболее перспективны для освоения песчано-супесчаные почвы, развитые на древнем аллювии и водно-ледниковых отложениях.

Выделяются следующие подтипы:

- торфянисто-подзолистые поверхностно-глееватые,
- торфянисто-подзолистые грунтово-глееватые (близкое залегание грунтовых вод),
- торфяно-подзолистые поверхностно-глеевые,
- торфяно-подзолистые грунтово-глеевые (близкое залегание грунтовых вод).

Выделяются следующие рода: обычные, контактно-глеевые, иллювиально-гумусово-железистые, иллювиально-гумусовые, оруденелые.

Род «обычные» болотно-подзолистые почвы характерен для суглинистых профилей. Здесь морфологические признаки являются типичными.

Род «контактно-глеевые» проявляется на двучленных породах. Контактно-глеевый горизонт выражен более контрастно в сравнении с аналогом, присущим подзолистым и дерново-подзолистым почвам.

Род «иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-гумусовые» присущ болотно-подзолистым почвам, развитым на флювиогляциальных и реже древнеаллювиальных породах. В отличие от аналога подзолистых почв здесь более масштабно выражены мобилизация, водная миграция и аккумуляция в гор. В_f компонентов ВОВ и фульвокислот.

Род «оруденелые» свидетельствует об активных процессах аккумуляции соединений железа, кремния, алюминия и марганца, которые мигрируют в почвенном покрове при участии ВОВ. Приурочены к нижней 1/3 склонов моренных холмов, увалов и гряд, а также к депрессиям в рельефе.

5.7. Тип Дерновые почвы (индекс на карте Д)

В таёжной зоне, наряду с дерново-карбонатными, являются наиболее благоприятными и потенциально плодородными для сельскохозяйственного использования почвами. Формируются в обширных понижениях рельефа, при слабом естественном дренаже пород, обогащённых на глубине 1,5-2,5 м карбонатами кальция. В этих условиях одним из важных лимитирующих факторов их использования является заметное переувлажнение почвенного профиля (рис.10). Данные почвы можно встретить под хвойными, смешанными (вторичными) лесами с мохово-травяным покровом, а также под луговым разнотравьем. Высокое содержание карбонатов кальция в почвообразующей или подстилающей породах способствует насыщению ионами кальция поглощающего комплекса и препятствует оподзоливанию. В профиле развивается мощный гор. А₁, достигающий 25-33 см.

Полная схема горизонтов дерновой глееватой почвы следующая:



A₀(A_д) – лесная хорошо выраженная подстилка или дернина на лугах,

A₁ – мощный (25-33 см) гумусово-аккумулятивный горизонт, интенсивно пронизан корнями растений, тёмно-серый (почти чёрный во влажном

состоянии), много червей и их копролитов, зернисто-комковатый, слабо уплотнённый, в нижней части профиля может быть белёсая присыпка из SiO_2 как следствие взаимодействия мигрируемых ВОВ с почвенными минералами,

$\text{B}_{(g)}$ – иллювиальный горизонт мощностью 25-45 см, при грунтовым переувлажнении здесь формируется часто глеевый G горизонт: сизый с со слабым палево-буроватым оттенком, плотный, вязкий, глыбистый, конкреций мало, преобладают ржавые затёки и примазки соединений железа; нередко оглеение выражено не по всему горизонту, а затрагивает какую-то его часть. Это свидетельствует о периодичности процессов переувлажнения и пульсации грунтовых вод.



Рис. 10. Профиль освоенной дерновой грунтово-глееватой почвы, развитой на покровных суглинках. Западина в нижней 1/3 склона увала учхоза «Дружба» Ярославской области (фото Яшина И.М., 2010).

$\text{C}_{(g)}$ – почвообразующая порода, которая при грунтовым оглеении может быть сильно оглеена и вмещать верховодку. Вскипание отмечается глубже 2,3 м.

Среди типа дерновых почв выделяются следующие подтипы: дерново-глееватые и дерново-глеевые.

5.7.1. Подтип Дерново-глееватые почвы (индекс на карте Д²)

Формируются в таёжных ландшафтах в условиях периодического избыточного увлажнения поверхностных или нижних генетических горизонтов. В рельефе они занимают ложинообразные понижения, занятые лесными массивами и заочкаренными лугами. Залегающие не глубоко почвообразующие породы обогащены геологическими карбонатами кальция

(морены и глины). Различают поверхностно- и грунтово-глееватые аналоги. Гумусово-аккумулятивный горизонт ярко выражен мощностью 20-30 см, в нём могут присутствовать мелкие конкреции, интенсивно пронизан корнями.

Этот подтип разделяется на роды: насыщенные, карбонатно-кальциевые, оподзоленные. Первые вскипают от 10% HCL под горизонтом A₁, вторые – в пределах гумусово-аккумулятивного горизонта A₁, третьи имеют признаки оподзоливания в нижней части гор. A₁.

5.7.2. Подтип Дерново-глеевые почвы (индекс на карте D^r)

Распространены в лощинах, старых ложбинах стока, залесённых и олуговевших подошвах склонов холмов и увалов таёжных ландшафтов, где близко к поверхности залегают жёсткие грунтовые воды и карбонатно-кальциевые породы. Характерной особенностью их морфологии является ярко выраженная оглеенность нижних горизонтов (Bg, BCg и Cg(G)). Часто в профиле встречается хорошо выраженный глеевый горизонт G. Как и в предыдущем подтипе в дерново-глеевых почвах выделяют следующие рода: насыщенные, карбонатно-кальциевые и оподзоленные.

При устойчивом поверхностном переувлажнении верхних горизонтов почв формируются дерново-перегнойно-глеевые аналоги (индекс D^{rr}). Выделять их в отдельный подтип нецелесообразно. Они формируются под заболоченными лугами и лесами с разнотравьем в понижениях рельефа с не глубоким залеганием известняков, доломитов, карбонатных покровных суглинков и морены. Особенностью таких почв является устойчивое поверхностное переувлажнение генетических горизонтов A₀ и A₁.

Поэтому здесь формируется ярко выраженный перегнойный (органогенный) горизонт мощностью 10-30 см. Отметим, что органогенный сорбционный барьер миграции активно аккумулирует экотоксиканты, и данный факт нужно учитывать при оценке экологического состояния экосистем.

Под этим горизонтом залегает гумусово-аккумулятивный горизонт, интенсивно тёмно-серого цвета с мелкими Fe-Mn конкрециями. Иллювиальный горизонт Bg также сильно оглеен и имеет серовато-сизую окраску. В этих почвах развиты диффузия и водная миграция ВОВ, поэтому горизонты прокрашиваются мигрантами. С глубиной признаки оглеения ослабевают и могут вообще не проявляться. В рельефе таёжных ландшафтов такие почвы соседствуют с болотными низинными.

В дерново-перегнойно-глеевых почвах выделяют следующие рода: насыщенные (индекс D^{rrh}), карбонатно-кальциевые (индекс D^{rrk}) и оподзоленные (D^{rrоп}). Их диагностика аналогична отмеченной нами ранее.

5.8. Тип Дерново-карбонатные почвы (индекс на карте Дк)

Распространены в таёжной зоне не сплошными ареалами, а отдельными участками (ареалами), тяготеющими к залегающим очень близко к дневной поверхности (60-80 см) элювию известняков и доломитов. Формируются в автономных ЭГЛ при глубоком залегании грунтовых вод, которые не принимают участия в почвообразовании.

Дерново-карбонатные почвы развиваются в тех же биоклиматических условиях, что и подзолистые почвы, под хвойными лесами с участием лесных видов трав, например, в *Каргопольском и Пинежском районах Архангельской области*. Благодаря очень близкому расположению в профиле известняков, они при участии ВОВ 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. А₁ доминируют гуминовые соединения. В профиле дерново-карбонатных почв образуется чётко выраженный гор. А₁. Он имеет высокую ёмкость поглощения, рН = 5,6-6,4 и содержит значительные количества доступных форм фосфора и калия. На Европейском Севере дерново-карбонатные почвы нами были изучены в пределах ландшафтов «Каргопольской суши» и Плесецкого плато. Эти почвы также встречаются в Пинежском и других районах Архангельской области. Иногда их диагностируют как рендзины (термин впервые предложил Н.М. Сибирцев – ученик В.В. Докучаева). Профиль таких почв довольно сильно каменистый, содержит щебень известняковых пород. Это самые плодородные почвы на Севере РФ. Карбонатно-кальциевый барьер в профиле дерново-карбонатных почв благоприятствует гумусонакоплению. В то же время в современных условиях, при антропогенезе, здесь активно аккумулируются и экотоксиканты. Это следует учесть при оценке экологической ситуации, так как профили таких почв весьма небольшие по мощности.

Полная схема горизонтов дерново-карбонатной почвы следующая:



A₀ – лесная, часто оторфованная подстилка, мощностью 3-10 см,

A₁ - гумусово-аккумулятивный горизонт мощностью 15-23 см, тёмно-серый, зернисто-комковатый, встречаются известняковые камни и щебень, копается с трудом.

В_{са} – иллювиально-карбонатно-кальциевый горизонт (здесь наблюдается аккумуляция тонкодисперсных частиц), мощностью 23-37 см, много известнякового щебня и дресвы, очень плотный, красновато-бурый, ореховато-комковатый, среднесуглинистый, сильно вскипает от 10% -го водного раствора НС1, переход ясный по цвету.

С_{са} – карбонатно-кальциевая почвообразующая порода, с большим трудом поддается проходке, вскипает бурно от 10% -го водного раствора НС1.

Среди дерново-карбонатных почв выделяются три подтипа:

- дерново-карбонатные типичные (индекс Дк),
- дерново-карбонатные выщелоченные (индекс Дк^в),
- дерново-карбонатные оподзоленные (индекс Дк^{оп}).

Почвы первого подтипа характеризуются очень коротким профилем (до 26-34 см) и слабой выраженностью гор. **В_{са}**. Не исключено, что подобные ареалы почв давно были использованы в качестве с.-х. угодий, а затем заброшены из-за низкой продуктивности и каменистости. Располагаются на плакорах сильно выположенных холмов и увалов, в частности, региона «Каргопольской суши» Архангельской области. Гор. **А₁** сильно щебнистый и каменистый с поверхности. Вскипание отмечается с поверхности гор. **В_{са}** выражен фрагментарно (деградирован), поэтому гумусово-аккумулятивный горизонт залегает на почвообразующей породе и высоко скелетный.

Дерново-карбонатные выщелоченные почвы имеют достаточно развитый профиль (60-100 см) с чётко выраженным иллювиальным гор. **В_{са}**. Гумусовый горизонт 20-30 см, комковато-зернистый, средне уплотненный, вскипание сразу же на границе с гор. **В_{са}**.

Дерново-карбонатные оподзоленные почвы морфологически похожи на выщелоченные аналоги, но отличаются комковато-пылеватой структурой гор. **А₁**, более сильной уплотненностью гор. **В_{са}** и более яркой его красновато-бурой окраской. Вслед за гор. **А₁** в профиле этого подтипа можно выделить и гор. **А1/ЕL**, особенно на склоновых участках рельефа.

5.9. Тип болотные почвы (индекс Б)

Формируются в зоне тайги в условиях устойчивого избыточного увлажнения как атмосферными, так и грунтовыми водами (в понижениях рельефа) под влаголюбивой олиготрофной (или мезотрофной) растительностью.

Характерной особенностью болотных почв является накопление в профиле мощного органогенного субстрата, залегающего на глеевом горизонте.

Болотные почвы подразделяются на три типа: низинные, переходные и верховые. Торфа являются емкими сорбционными барьерами миграции. Кроме того, они обладают исключительно высокой влагоемкостью. Все

болотные системы на Европейском Севере участвуют в формировании рек и озер. Поэтому осушение таких массивов следует проводить выборочно.

5.9.1. Подтип болотные низинные почвы (индекс Бн)

Формируются в обширных депрессиях рельефа (на плакорах), на речных террасах и в понижениях на склонах увалов под мезотрофной растительностью: осоками, таволгой, гипновыми мхами и кустарниками (из ольхи, ивы и др.). Различают два подтипа болотных низинных почв: торфяно-глеевые и торфяные. Рассмотрим кратко их особенности.

Болотные низинные торфяно-глеевые почвы распространены в краевой части болотных массивов.

Полная схема горизонтов этой почвы следующая:

T(A₀) – (A_{1g}) – C (G)

Торфяной горизонт имеет мощность 30-50 см, торф высоко зольный (зольность более 20%), подразделяется на два или три подгоризонта в зависимости от степени разложения органического субстрата. По степени разложения выделяют: обычные (степень разложения торфа до 25%), торфяно-перегнойно-глеевые (степень разложения торфа 25-50%) и перегнойно-глеевые (степень разложения торфа более 45 %).

Болотные низинные торфяные почвы (индекс Бн^Г)

Формируются на низинных болотах при участии осок, таволги, сабельника под сосново-еловыми лесами низкого бонитета с участием берёзы. Мощность торфа 60-9тёмно-бурый хорошо разложившийся торф 0 см, глубже залегает глеевый горизонт G.

Торфяная масса неоднородная по степени разложения: сверху (10-20 см) идут слабо разложившиеся растительные остатки, затем до глубины 60-70 см – хорошо разложившийся торф, и глубже вновь слабо трансформированные остатки растений. Подобная дифференциация может заметно варьировать в пространстве. Торфяная залежь книзу заиливается. В верхнем горизонте (30-40 см) зольность - более 20%.

Виды торфов подразделяются в зависимости от мощности торфяной залежи: на мелких торфах (мощность 50-100 см), на средних торфах (мощность 100-200 см), на глубоких торфах (мощность более 200 см). По степени разложения торфа дифференцируются по аналогии торфяно-глеевыми почвами: торфяные, торфяно-перегнойные и перегнойные.

5.9.2. Подтип болотные верховые почвы (индекс Бв)

Формируются под влаголюбивой олиготрофной растительностью (сфагновыми мхами..., а также багульником, кассандрой, пушицей с участие кустарничков – морошка, голубика, морошка, черника) в замкнутых

понижениях рельефа тайги при избыточном увлажнении пресными водами. Зольность торфа 2,5-6,5%. Величина рН варьирует в пределах 2,6-3,6.

По степени разложения торфа выделяют торфяно-глеевые и торфяные. В первых мощность торфа варьирует от 30 до 50 см.

Выделяют: обычные, торфяно-перегнойно-глеевые, торфяно-перегнойно-глеевые гумусово-железистые.

5.9.2. Подтип Болотные переходные почвы (индекс Бп)

Занимают промежуточное положение между низинными и верховыми почвами. Могут образоваться из болотных низинных аналогов в результате потери верхними горизонтами связи с минерализованными грунтовыми водами.

Торф, как правило, тёмно-бурый среднеразложившийся с хорошо заметными растительными остатками. Зольность 7-10%. Величина рН колеблется в пределах 3,4-4,2.

5.10. Тип Пойменные (аллювиальные) почвы (индекс Ад)

Формируются в поймах крупных северных рек под влиянием аллювиального (поёмного) процесса, связанного с сезонным затоплением поймы паводковыми водами, отлагающими большие массы аллохтонного материала: тонкодисперсных частиц мелкозёма, песка и детрита. Поэтому и почвенные профили пойменных почв отражают особенности поёмности рек.

Развиваются под разнотравными лугами, кустарниками и вторичными лесами с участием ивы, осины, ольхи и берёзы. В отличие от других типов почв индексы горизонтов пойменных аналогов (глубже дернины и гумусово-аккумулятивного горизонта) даются римскими цифрами с добавлением уточняющих мелких индексов: оглеения, засоления.

Полная схема горизонтов пойменной почвы следующая:

А_д (А₀) – А_{1(g)} – 11 – 111 – 1V

А_д (А₀) – дернина из живых корней (или в лесах лесная подстилка),

А_{1(g)} – гумусово-аккумулятивный горизонт, комковатый, пронизан корнями, мощностью 3-20 см; в прирусловой части поймы с ясными признаками слоистого аллювия (прослойки суглинка и песка).

11– 111 – 1V – горизонты слоистого аллювия разного гранулометрического состава, сложения и свойств.

В соответствии с наличием в пойме участков прирусловой, центральной и притеррасной частей выделяют и почвы, характерные для каждого из них.

В прирусловой части поймы распространены песчаные наносы (пески), пойменные слаборазвитые почвы и пойменные дерновые слоистые.

В центральной части поймы формируются самые плодородные пойменные дерновые (по микропонижениям оглеенные и глеевые), а на высокой пойме – пойменные дерновые оподзоленные.

В притеррасной части поймы залегают пойменные болотные почвы. Рассмотрим кратко их диагностику.

Прирусловая пойма является самым динамичным участком поймы. Здесь встречаются намытые песчаные дюны, примитивные почвы, различный хлам, принесенный рекой в половодье.

Песчаные наносы (индекс Ап) относятся к непочвенным образованиям и формируются сравнительно быстрыми потоками сходящих после разлива полых вод реки. В прирусловой пойме такие наносы располагаются параллельно руслу и почти не зарастают растительностью.

Пойменные слаборазвитые почвы (индекс Ас) – это самые молодые почвенные образования, приуроченные к песчаным косам, отмелям и островам, возвышающимся над уровнем реки на 1-3 м в межень; в верхней части профиля располагается слабо развитый гор. А₁ мощностью 1-4 см, глубже идут слои песка и супеси.

Пойменные дерновые слоистые (индекс А_д^{сн}) располагаются на границе с центральной частью поймы и формируются под разнотравными лугами и разреженными лесами с гор. А₁ мощностью 5-9 см. Глубже выделяется слоистый аллювий.

Центральная пойма. Здесь развиты пойменные дерновые почвы.

Пойменные дерновые почвы (индекс Ад) развиваются под злаковыми лугами и пойменными лесами на аллювии различного гранулометрического состава; мощность гор. А₁ достигает 20-30 см. По понижениям распространены пойменные дерновые глееватые и глеевые аналоги. Среди первых выделяются поверхностно- и грунтово-глееватые. Среди вторых – поверхностно- и грунтово-глеевые. В последнем случае в профиле почвы диагностируется глеевый горизонт G сизовато-серой окраски.

Пойменные дерновые оподзоленные (индекс Ад^{оп}) приурочены к высокой пойме северных крупных рек (5-7 м над их уровнем) и редко испытывают затопление полыми водами. Формируются под лугами, хвойно-мелколиственными лесами с моховым и травяным покровом. Мощность гор. А₁ 7-15 см, а в его нижней части наблюдается белесые пятна или ясно выраженная белесоватость. На песчаном аллювии указанные признаки выражены слабо, а на суглинистом – четко. Возможно, и вследствие элювиально-глеевого процесса.

Притеррасная пойма (фото 9). Отличается наличием стариц и болот. Труднопроходима. Это места гнездовья птиц и лежки зверей.

Для аллювиально-болотных почв (индекс А_б) характерно сочетание болотного почвообразовательного процесса с заилением профиля очень медленно текучими полыми водами, содержащими илистые частицы. Пойменные болотные почвы формируются под евтрофной растительностью – осоками, тростниками, хвощами, таволгой с участием ивы, осины и берёзы. В зависимости от степени заиления и активности торфообразования среди

пойменных болотных почв выделяются: иловато-глеевые (индекс $A_6^{иг}$), иловато-торфяно-глеевые (индекс $A_6^{итг}$) и иловато-торфяные (индекс $A_6^{ит}$).

Профиль пойменных иловато-глеевых почв представляет собой насыщенную водой оглеенную иловатую массу, практически не дифференцированную на горизонты. Торфообразование отсутствует. Приурочены к старицам и протокам, прилегающим к притеррасью речных пойм северных рек Мезени, Северной Двины, Печоры, Кулоя, Пинеги.

В пойменных иловато-торфяно-глеевых почвах процесс заиления не подавляет торфообразования, а сопутствует ему. Эти почвы развиваются под травянистой растительностью: осоками, тростниками, хвощами, разнотравьем и кустарниками – ива, ольха чёрная, берёза, а также гипновыми мхами. В таких почвах сверху залегает слой торфа мощностью 30-50 см, который в иловато-торфяных увеличивается до 50-100 см.

Торфяные слои дифференцируются на ряд подгоризонтов. Рассматриваемые почвы нельзя мелиорировать, их нужно оставить в естественном состоянии.

Комплекс овражно-балочных почв (индекс $D_{об}$)

Распространены на склонах и днищах небольших оврагов и балок. Характеризуются слабой эродированностью (смытостью и намытостью горизонтов), не сортированным гранулометрическим составом, оглеением. Подобные почвы целесообразно залужить, истоки оврагов и балок залесить. Рекомендуются не использовать для пастьбы скота и заготовки сена.

Нарушенные почвы (индекс H)

К ним относятся участки почв с нарушенными верхними генетическими горизонтами: выработанные торфяники, карьеры, разработки месторождений полезных ископаемых (агроруд, углеводородов нефти и газа, золота, алмазов, полиметаллических руд и др.). В таких почвах обязателен экологический мониторинг.

Техногенные ландшафты ухудшают эстетический вид территории и требуют обустройства и облагораживания. Карьеры, например после их использования, можно отвести для обустройства прудов и рыборазведения. Прилегающие массивы почв после рекультивации, могут быть отведены под садово-огородные и дачные участки.

При классификации почв следует обратить внимание на **почвоподобные образования**. Их диагностика дискуссионная, но заслуживает внимания.

5.11. Почвы островной дельты р. Северной Двины

В приустьевой зоне дельты р. Сев. Двины, особенно около п. Холмогоры (в 90 км от Архангельска), в пойме реки, находятся крупные острова. Кстати, на одном из них расположено село, где родился М.В. Ломоносов. Музей М.В. Ломоносова, организованный в п. Холмогоры, имеет вид неухоженного сооружения и требует капитальной реставрации.

На пойменных участках островов находятся наиболее плодородные пойменные почвы и самые продуктивные в зоне тайги кормовые угодия. Благодаря пойменным почвам здесь была выведена знаменитая Холмогорская порода крупного рогатого скота.

В устьевой зоне дельты р. Сев. Двины располагается большое количество довольно крупных островов (Зеленец, Тиноватик...), почвы и растительный покров которых был изучен нами в 1978-1980 гг. Как было уже отмечено, данные острова используются в качестве кормовых угодий и для заготовки сена на зимний сезон. Наши исследования позволили установить, что ландшафты островов дельты р. Сев. Двины заметно отличаются от островов



Рис. 11. Участок старицы и притеррасной поймы речки Корелки – приток р. Сев. Двины – вблизи Музея деревянного зодчества «Малые Корелы», в 25 км от Архангельска (фото Яшина И.М., 2004).

речной поймы по гидрохимическому режиму. Острова дельты испытывают устойчивое воздействие морских солёных вод (электролитов) во время штормов, морян (нагонов воды), а также морских приливов. Соли на острова переносятся также ветром (процесс импульверизации). В зоне дельты р. Сев. Двины речные воды, обогащённые органическими и минеральными коллоидами, а также детритом, смешиваются с солёными морскими водами.

Происходит коагуляция взвесей и тонкодисперсных частиц, а на речном дне быстро образуются вязкий коллоидный наилок («няша»). Его масса настолько значительная, что за несколько лет в приморской зоне дельты формируются новые острова («кошки»), а судоходство здесь затрудняется, поскольку конфигурация береговой линии подобных островов постоянно изменяется.

При картировании почвенного покрова в 1978-1979 гг. дельта реки Сев. Двины разделена нами на три зоны: первая – приморская (острова Лайда и Голец), вторая – приморско-аллювиальная и третья – аллювиальная, почти не испытывающая воздействия солёных морских вод. Например, в пределах приморских крупных островов Лайда и Голец отмечены характерные дюнные формы рельефа (высотой 8-10 м над у.м.) с подзолами иллювиально-железистыми. Растительность дюн представлена сосняками - беломошниками с черникой, мхами и лишайниками. В меж дюнных обширных понижениях под пологом угнетённого леса из сосны, ольхи и берёзы формируются верховые торфяно-глеевые и болотно-подзолистые почвы.

Основная часть территории приморских островов представлена маршевыми низинами с лугами. Превышение поверхности низин над у.м. – 45-70 см, поэтому они регулярно затопляются морскими водами во время приливов на несколько часов. В условиях анаэробнобиозиса, при участии сульфатов, в маршевых почвах формируется сероводородный глеевый барьер миграции. При этом в почвенном мелкозёме накапливается и серная кислота, способствующая появлению максимально высокой величины рН, равному 1,5 – 2,1.

Видовой состав растительности маршевых лугов отличается бедностью: преобладает ситник Жерара. На более низких абсолютных отметках лугов располагаются тростовые луга из тростника морского. Профиль маршевых почв имеет ясные морфологические признаки засоления (при высушивании почвенных образцов) и оглеения. Цвет почвы – чёрный, обусловленный сульфидами марганца и железа. Засоление сульфатно-хлоридное, хлориды морского генезиса преобладают.

Рассмотрим диагностику почв островов дельты р. Северной Двины

Аллювиальные пески (индекс $A_{п}^{(3c)}$) засоляются периодически, но вследствие активного промывного режима в верхней части освобождаются от солей. Распространены в прибрежной полосе островов, на косах и отмелях.

Пойменные слабо развитые засоленные (индекс $A_{с}^{3cr}$) – это фактически «свежий» аллювий. На таких участках растут единичные растения. Дернового горизонта не образуется. В сочетании с ними залегают пойменные дерновые слоистые засоленные (нередко глееватые и глеевые). В профиле чётко выражен слоистый аллювий, дернина сформирована лучше, чем в предыдущей почве.

Пойменные дерновые засоленные глеевые (индекс $A_{д}^{3cr}$) распространены ближе к центральным участкам маршевых низин. Это наиболее сильно

засолённые почвы. Небольшими контурами с указанными почвами встречаются пойменные дерновые погребённые засоленные аналоги. В профиле отмечены погребённые прослойки торфа.

Пойменные болотные (индекс $A_6^{изст}$) формируются по плоским понижениям маршевых островов – мелководным заливам. Профиль почвы представляет собой насыщенную водой иловатую оглеенную массу. При её высыхании появляются белые выцветы соли и жваво-охристые пятна. В зависимости от мощности торфяного горизонта выделяют почвы на мелких (мощность до 50 см), средних (мощность 50-100 см) и глубоких торфах (мощность более 200 см).

Почвы маршевых островов не нуждаются в мелиорации и их нужно оставить в естественном состоянии. *В советское время только, например, в ГПЗ «Приморский» заготавливали несколько сот тонн зеленого корма с маршевых лугов на зиму. Заготовленная «зелёнка» долго проветривалась на вешалах (летом здесь очень часто идут затяжные дожди), а затем помещалась в сенажные сараи. Корм с маршевых лугов для коров, овец и лошадей был своего рода лакомством. Его слегка солоноватый вкус служил усилителем аппетита, и у коров повышались удои молока.*

В супераквальных ландшафтах (острова дельты реки Сев. Двины) с участием специалистов Архангельской опытно-мелиоративной станции после мелиорации созданы высокопродуктивные лугово-пастбищные и полевые ландшафты, что позволило заметно укрепить кормовую базу животноводства и улучшить снабжение населения ряда городов продуктами питания («Экология Северной Двины», 1997).

Со временем были выявлены негативные экологические аспекты, связанные с осушением болот. По мнению географов, болотоведов, геохимиков и почвоведов это связано с целым рядом причин.

Первая. При разработке технических заданий по осушению болот специалисты руководствовались прежде всего техногенным подходом: их интересовали прежде всего объемы работ, регулирование стока, его оценка. При этом ландшафтные и экологические аспекты у гидрологов и мелиораторов остались без внимания.

Вторая. Осушению подвергались, как правило, огромные площади болот, которые в большинстве случаев не дифференцировались на подтипы и очередности осушения. Не секрет, что верховые торфяники вообще лучше не осушать, так как они играют чрезвычайно важную гидрологическую роль, являясь истоками речных систем.

Третья. Связана с излишним отводом и сбросом влаги из органогенного субстрата и подстилающих торф пород. Отсюда иссушение торфяных массивов и их легкая податливость к возгоранию. Пожары уже охватывают большие территории, уничтожая вновь созданные ландшафты, близлежащие дачные участки и населенные пункты. Заметно ухудшается качество воздуха, а почвы превращаются в бесплодные пирогенные почвоподобные образования. Подобные негативные процессы наблюдаются, в частности, в

Мещёрской низменности, Сибири, Тверской и иных областях России, а также в других регионах Земли.

Экологическая проблема пирогенеза осушенных болотных ландшафтов связана с уничтожением мест гнездования, кормежки и лёжек зверей и птиц. Уменьшение видового разнообразия и численности диких животных способствует интенсификации болезней людей, поскольку между патогенными микроорганизмами и людьми становится все меньше биологических барьеров.

В этой связи уместно обратиться к истории осушения Мещеры. Она, как известно, связана с именем генерала Жилинского, который еще в начале XX-го столетия предпринял попытку осушения лесных болот Мещеры. Очень образное описание мелиоративных каналов дал К. Паустовский в повести «Мещорская сторона». «Жилинский провел в Мещере множество каналов. Сейчас каналы эти заглохли и заросли болотными травами. В них гнездятся утки, живут ленивые лини и верткие вьюны. Каналы эти очень живописны. Они уходят вглубь лесов. Заросли свисают над водой темными арками. Кажется, что каждый канал ведет в таинственные леса. По каналам, особенно весной, можно пробираться в легком челне на десятки километров. Сладковатый запах водяных лилий смешан с запахом смолы. Иногда высокие камыши перегораживают каналы сплошными плотинами. По берегам растет белокрыльник... Папоротник, ежевика, хвощи и мох наклоняются с берегов. Если задеть рукой или веслом за космы мха, из него вылетает густым облаком яркая изумрудная пыль - споры кукушкиного льна. Розовый кипрей цветет невысокими стенами. Оливковые жуки-плавунцы ныряют в воде и нападают на стаи мальков. Иногда приходится тащить челн волоком по мелкой воде». Это было и было очень давно.

Сейчас Мещорская сторона более всего походит на пожарный полигон². Эстетический вид многих Подмосковных ландшафтов утрачен. Здесь все реже бывают туристы, рыбаки, охотники и грибники. Летом различные продукты горения торфяников сплошным покрывалом охватывают на несколько недель Москву, причиняя не только дискомфорт, но и представляя реальную угрозу здоровью москвичам и жителям сопредельных областей.

Приоритетные вещества, загрязняющие атмосферный воздух: оксиды серы и азота, образующиеся при сгорании углей, мазута..., при выплавке металлов и производстве удобрений; частицы золы, сажи и пыли, состоящие из оксидов кремния, железа, алюминия, кальция; соединения фтора, выделяющиеся в газовую фазу при производстве фосфатов и алюминия; углеводороды, свинец и оксид углерода, содержащиеся в выхлопных газах, автотранспорта, диоксины и другие.

Атмосфера, в частности, г. Москвы сильно загрязненная. Город Москва насыщен и переполнен автомобилями уже давно выше экологических норм. Кроме констатации данного факта пока радикальных решений у Мэрии нет. Кто будет решать эту важнейшую экологическую задачу?

² Речь идет о ландшафтах Шатурского района Московской области.

Глава 6. Ландшафты и почвы острова Большой Соловецкий в Белом море - объекты фонового экологического мониторинга

Фоновый экологический мониторинг направлен на уточнение своеобразия последствий глобального загрязнения биосферы и выявления ландшафтов, почв, не испытывавших существенного (и прямого) воздействия продуктов антропогенеза. Фоновый мониторинг проводится по специальной научной программе и предполагает выполнение прогноза и устранение выявленного загрязнения. Фоновые участки служат своеобразной точкой отсчета (природным стандартом) для выявления особенности регионального и импактного загрязнения экосистем. Ранее он осуществлялся в службах Госкомгидромета. Причем, физическое загрязнение определялось по объемам пылевых выпадений в т/км² за 1 год (сезон). Оценка химического загрязнения предусматривает обязательный (согласно международным нормам) перечень химических соединений, дополняющийся на основе региональных экологических проблем: диоксины, микотоксины, радионуклиды, СПАВ, нефтепродукты, тяжелые металлы (Hg, Pb, Cd, Be и др.), мышьяк, компоненты ракетного топлива, пестициды, избыток доступных форм азота и фосфора... В связи с аэральным переносом загрязнителей и выпадением «кислотных дождей» в программу исследований следует включить диагностику соединений оксидов N, S, Cl, F, (H₂S), pH в почвах, в жидких и твердых атмосферных осадках.

При фоновом мониторинге проводятся гидрометеорологические наблюдения: измеряются температура воздуха и почвы, осадки, их химический состав. Кроме сети метеопостов в качестве объектов выступают биосферные заповедники (Г.В. Добровольский с соавт., 1985), заказники, служащие как для установления загрязнения почвенного покрова, природных вод), так и оценки характера и степени деградации экосистем. В то же время и сами ландшафты заповедников могут претерпеть антропогенное воздействие (рис. 12). Например, в проспектах о Соловецком архипелаге содержатся порой сведения, характеризующие первозданность и разнообразие экосистем; наличие разных климатических зон: от тундр до смешанных лесов, богатство лесов ягодами и грибами, а озер – рыбой.

Однако эта информация не в полной мере соответствует действительности: на самом деле ландшафты, например, острова Большой Соловецкий претерпели существенную деградацию в 20-30-х годах прошлого столетия (в период жестоких репрессий в стране и продажи леса на экспорт) и до сих пор не восстановились. В береговых ландшафтах много хлама, бочек, металлолома, бревен, что омрачает первое же восприятие от Соловков. Невольно задаешься вопросом: «Почему такая разруха и не ухоженность»? Чем здесь занимаются миряне? Пешие ландшафтные маршруты, заложенные одним из авторов в 2004 г. от п. Соловецкий до



А

В

Рис. 12. А - на рейде: «западный берег» острова Большой Соловецкий во время отлива; В – вид на взморье с горы «Секирная», что в 12,5 км от Соловецкого Кремля (фото Яшина И.М., август 2004).

горы Секирная (протяженность 12,4 км) по научной программе РФФИ, выявили, что под «смешанными лесами» понимаются **сильно изреженные вырубки** – это, так называемые, вторичные леса из осины, березы, ольхи... с примесью коренных хвойных пород. Подобная ситуация прослеживается вплоть до 7,5 км (и далее) от поселка «Соловецкий» на север. В то же время на острове имеются массивы почв и лесов, слабо затронутые антропогенной деградацией. Они расположены, в частности, на северной (северо-восточной) и южной частях территории Соловецкого архипелага (И.М. Яшин, 2005). Используемый нами для фонового мониторинга по программе РФФИ этот уникальный регион, требует дальнейших исследований и разгадки некоторых исторических (и географических) тайн, о которых мы очень кратко дальше и расскажем (С. Морозов «Постижение Соловков», 2004). *Но более всего Соловки требуют обустройства и восстановления.*

Соловецкий архипелаг, или в быту «Соловки», расположен в Онежском заливе Белого моря, между Карельским Поморьем и Летним берегом Онежского полуострова, недалеко от Полярного круга (в 25 км) и состоит из шести крупных и множества небольших островов. Наиболее известен о. Большой Соловецкий: 25 километров в длину и 16 в ширину (310 км²). Другие острова значительно меньше по площади. За долгие годы жизни на островах монахи построили дороги среди болот и сильно завалуненных холмов, соединили каналами озера, расчистили от камней сенокосы, окультурили небольшие массивы почв, построили дамбы. На островах были устроены небольшие гавани, рыболовные тони, садки для рыбы, построен

док, налажены многие промыслы и ремесла. И сегодня ежегодно множество туристов и паломников посещают Соловецкий архипелаг, стараются ознакомиться с достопримечательностями островов и, в первую очередь, увидеть овеянные легендами величественные сооружения Соловецкого монастыря, основанного в 1429 г. преподобными Савватием, Германом и Зосимой, а также Вознесенскую церковь на горе Секирная, ботанический сад (в 4 км от поселка), переговорный камень, «филипповские садки» для рыбы, Савватьево, каменные лабиринты на взморье. Здешние северо-таежные ландшафты уникальны. На Соловках нет вечной мерзлоты, нет змей и хищных зверей. Бросается в глаза сильная завалуненность почв и пород. Птиц и рыбы в озерах сохранилось мало. Запасы рыбы резко уменьшились не столько из-за ее ловли сетями, сколько вследствие ухудшения гидрохимической обстановки: возросшей концентрации в водах озер соединений Al,- Fe,- и Mn. Многие озера залегают на верховых и переходных торфяниках и имеют высокую концентрацию ВОВ (более 75 мг/л C_{org}). Озера очень давно были умело объединены монахами в единую озёрно-канальную систему. Вблизи стен Кремля в почве сохранились мощные слои древесных углей – следы былых крупных пожаров.

Выбрать участок для фонового мониторинга на о. Б. Соловецкий несложно: вначале проводится рекогносцировка с использованием топокарты М 1: 25 000. Закладывается система почвенно-экологических катен и выбирается нужная из них для исследований. Становится ясно, что для экологов вполне подойдёт Ботанический сад. Он расположен вблизи озера Перт. Здесь в 1822 г. архимандрит Макарий основал Макарьеву пустынь, а в 1854 г. была поставлена часовня в честь Александра Невского. На основе устроенного в Макарьевой пустыни воскобелильного завода были оборудованы оранжереи и парники с подземным подогревом почвы, где, по словам очевидцев, вызревали арбузы и дыни. Вообще культура выращивания теплолюбивых и редких для этих мест растений была развита в Соловецком монастыре и раньше. Сохранилось предание, что монахи угощали Петра I, не раз посещавшего Соловецкий монастырь в 1698-1702 гг. арбузами из парников. В конце XIX столетия на острове был создан небольшой ботанический сад, в котором прошли акклиматизацию яблоня Паласа, ирга колосистая, сирень венгерская, желтая акация, роза морщинистая, а бывшая пустынь получила название - «хутор Горка».

Как к нему пройти? Нужно знать поворот, от грунтовой дороги, идущей на «Секирку». Ну, а дальше повернуть направо - к Ботаническому саду: здесь проложены приподнятые над почвой прочные деревянные мостки протяженностью около 1,3 км. Многочисленные туристы, таким образом, не разрушают лесную подстилку северо-таежных лесов. К северу от двухэтажного деревянного дома-музея изгибом раскинулось живописное озеро Перт, берега которого поросли вековым лесом и заболочены.

Летняя резиденция архимандрита и сам небольшой домик располагаются на вершине выположенного холма, южный склон которого и был отведен под Ботанический сад. Здесь удивительно тихо, птиц мало. Отсюда открывается замечательный вид на весь остров. Около флигеля разбит цветник в форме небольшой клумбы. Сад огорожен новым резным забором и ухожен. Это дар от Правительства Норвегии, как и уникальная лестница на северном склоне горы Секирная. Об этом нам рассказал экскурсовод.

По южному склону холма две тропы ведут к молодой лиственничной аллее, и дальше вглубь посадок. Раньше здесь находилась оранжерея и парники с почвенным подогревом. На небольшом участке, около дачи, растут боярышник, зверобой, купена, бадан и другие декоративные и лекарственные растения.

Примечательно, что в **корневищах бадана** содержатся дубильные вещества, представленные в основном галлотанином, а также гликозидом бергенином и крахмалом. В листьях, кроме дубильных веществ, содержатся арбутин, свободные галловая и аскорбиновая кислоты, гидрохинон, полифенолы и фитонциды.

Препараты, полученные из бадана, обладают противовоспалительным, вяжущим, кровоостанавливающим и бактерицидным действием. Поэтому люди, зимовавшие и жившие на острове, издавна использовали настойки из бадана - заваривали из него чай, делали лечебные настойки. Наряду с целебными свойствами полифенолы и фенолкарбоновые кислоты выполняют уникальные аллелопатические функции в таежных экосистемах. С их помощью растения связывают ионы тяжелых металлов (а также ионы алюминия) в новые органоминеральные комплексные соединения, не токсичные для биоты. Следовательно, в самих растениях заложены механизмы детоксикации веществ, чуждых биосфере Земли. Их и нужно изучать.

Напомним, Соловецкий монастырь до 1917 г. был крупнейшим и богатейшим землевладельцем на Руси. Кроме всего Соловецкого архипелага монастырь еще в XVI в. получил земли по берегам Северной Двины, Сумскую область в Поморье и другие территории. По развитию различных собственных отраслей хозяйства монастырь был вполне сопоставим с современным крупным городом. Здесь и солеварение (каждый год продается по 10 тысяч пудов соли), и молочное хозяйство (скотный двор на о. Муксолма), и разведение северных оленей с небольшим кожевенным производством по обработке оленьих шкур. Работают кирпичный и гончарный заводы, пекарня, литейная, кузница, изготавливающая не только гвозди, лопаты и топоры, но и оружие – копья, бердыши. налажен промышленный лов тюленей, построена салотопня и мастерская для пощи-



А

В

Рис. 13. **А** - небольшой старый карьер на склоне холма о. Б. Соловецкий с песчано-галечниково-валунными отложениями водно-ледникового генезиса; **В** – профиль подзола иллювиально-железистого песчаного ненарушенного на флювиогляциальных отложениях (фото Яшина И.М., 2004).

вки сапог из тюленьей кожи. В монастыре имелся квасопровод. В 1875 г. монастырское имущество оценивалось в 10 млн. рублей – деньги по тем временам огромные. Легко понять, что для успешного управления таким многоотраслевым хозяйством настоятель Соловецкого монастыря должен был быть человеком незаурядным – не только образованным, но и масштабно мыслящим, заботящимся о благополучии людей, своих владений и земель. Судя по всему, таким и был архимандрит Мелетий. Недаром он был избран Почетным членом Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей.

В 1882 г. Священный Синод подписал прошение и разрешил открыть на территории монастыря биологическую станцию. Для неё был специально построен второй этаж над Сельдяной избой (в Соловецком Кремле). Монастырь бесплатно предоставлял учёным рабочих и шлюпку с гребцами. Министерство народного просвещения при открытии станции выделило 1000 рублей на библиотеку, реактивы и оборудование. Никакого дальнейшего финансирования уже не было, а исследования проводились на деньги самих ученых. С 1890 г. Российское общество естествоиспытателей стало выделять 400 рублей в год для найма лаборанта, а с 1895 г. Государственное казначейство выплачивало станции по 1500 рублей в год. Просуществовав с 1882 г., биостанцию закрыли в конце 1898 г. Во многом это было связано с проф. В.М. Шимкевичем, не проявлявшего должного

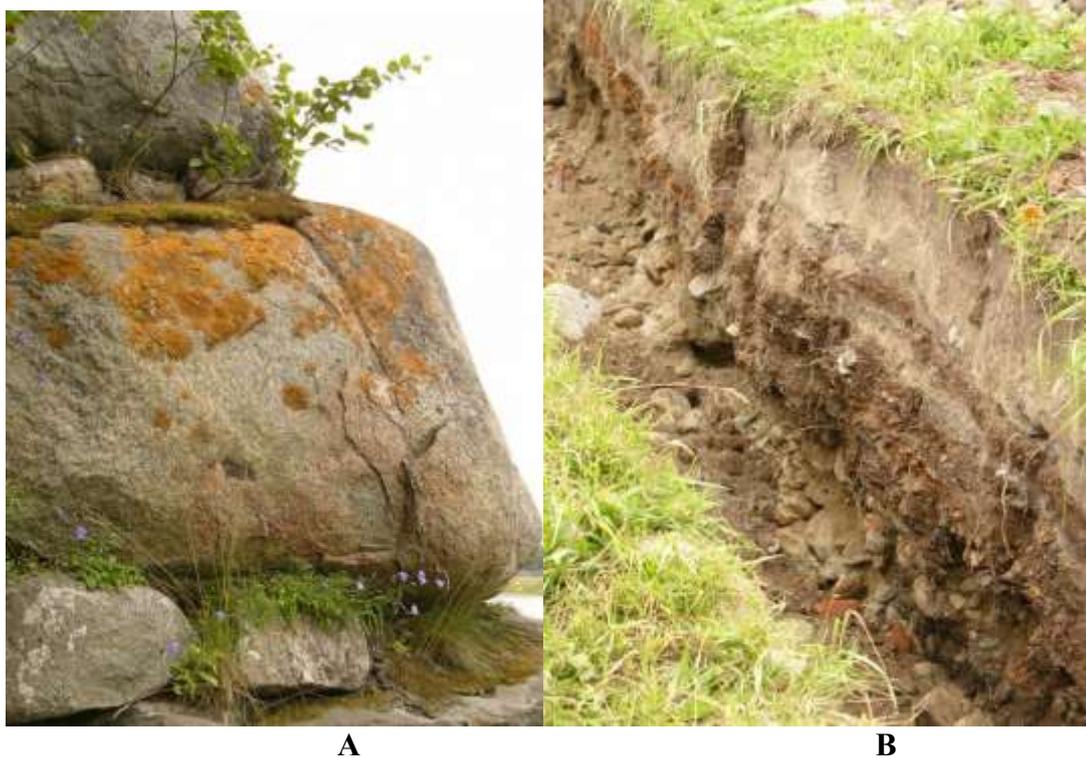


Рис. 14. **А** – такие вот «*гранитные гиганты*» - огромные валуны, покрытые мхами и лишайниками, находятся в основании стен Соловецкого Кремля **уже несколько сотен лет**, но время неумолимо: и даже такая порода как гранит сдается, *покрываясь сетью трещин*; между камнями и валунами набивается мелкозем, служащий «прапочвой» для приполярной биоты – карликовой березки, мхов и трав; **В** - **стратозём** (искусственная насыпная слоистая «почва» на валунно-галечниково-песчаных отложениях, изученный в **24 м** от западной стены Соловецкого Кремля – очевидно, здесь был очень давно огород, но выкопать такую траншею без кайла и лома очень тяжело (фото Яшина И.М., 2004).

уважения к архимандриту монастыря. Несмотря на недолгий срок существования, **Соловецкая биостанция** оставила яркий след в истории отечественной зоологической науки.

На Соловецкие берега съезжались петербургские, Юрьевские, казанские профессора и студенты (более 50 человека). Они издали более 60 научных трудов, посвященных фауне и флоре Белого моря. Собранные фактические материалы вошли в коллекции Зоологического музея С.-Петербургского университета и Зоологического музея Императорской академии наук.

Научные результаты исследований использовали многие высшие учебные заведения и гимназии России. Студенты здесь проходили интересную учебную практику. Исторический опыт Соловецкой биостанции, на наш взгляд, довольно поучительный. В настоящее время исследование почв, биоты, и недр Соловков продолжается (И.М. Яшин, 2005).

Ландшафты и почвы о. Большой Соловецкий

Рекогносцировочные исследования на о. Б. Соловецкий, выполненные профессором И.М. Яшиным (2004) по маршруту Кремль – гора Секирная показали, что на о. Б. Соловецкий преобладают *болотные, лесные и лугово-болотные ландшафты*; очень небольшими участками встречаются *огородные и сенокосные* аналоги. Рельеф здесь характерный для Европейского Севера: хорошо выраженные озы, холмы, гряды, формирующие грядово-западинные орографические образования. Их абсолютные отметки варьируют в пределах 18-65 м над у.м. (гора Секирная – 74 м). Среди почв преобладают следующие типы: болотные (верховые и переходные), болотно-подзолистые, подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые, локально подбуры оподзоленные и иллювиально-железистые. По побережью развиты маршевые засоленные и оглеенные почвы с сероводородным почвенно-геохимическим барьером. Они обычно коротко профильные и сильнокаменистые. На сероводородном барьере миграции накапливаются ионы тяжёлых металлов, а цвет почвы, как правило, почти чёрный. Изыскания подтвердили рабочую гипотезу об отсутствии на острове не только тундровых, но и дерново-подзолистых почв. *Тундровых почв нет потому, что здесь нет вечной мерзлоты*, как это наблюдалось авторами в 1958 и 1980-1983 гг. в районе г. Мезени и д. Долгощелья при крупномасштабном изучении почв. Пожароопасность здесь очень высокая.

В северной тайге дерновый процесс почвообразования замещается подстилко- и торфообразованием, выражен также элювиально-глеевый процесс и интенсивное выщелачивание веществ. Поглощающий комплекс почв здесь сильно не насыщен ионами щелочноземельных оснований. Почвы кислые. Химическая агрессивность атмосферных осадков прослеживается на стенах Соловецкого Кремля: штукатурка довольно быстро трансформируется под действием частой смены температуры воздуха и выпадающих осадков, по-видимому, содержащих анионы сильных минеральных кислот. Это предположение требует проверки. В литературе есть сведения, что заметные массы «кислотных дождей», пыли и сажи поступают из Швеции, Норвегии и Финляндии в ландшафты Карелии и на западные участки территории Архангельской области.

На закочкаренных и закустаренных пожнях (сенокосах) с торфяными глеезёмами, развитыми на оглеенных песках, жители посёлка Соловецкий заготавливают в августе неплохие укусы сена. По ботаническому составу в травостое преобладают болотное разнотравье, осоки, хвощи, таволга, мхи и плотнокустовые злаки.

В межувалистых депрессиях сформировались озёрные (аквальные) и субаквальные (болотные) урочища, которые являются конечными пунктами разгрузки мигрантов. Торфа представлены в основном верховыми аналогами

и, как показали химические анализы, имеют низкую зольность 2,3-3,1% и очень сильноокислую реакцию: рН 3,4-4,1.

Стратозёмы (рис. 14,В) под верхним насыпным гор. $A_{пах}$ содержат несколько искусственных слоёв из органогенных субстратов – опилок, окорки, торфа и водорослей. Они выполняют здесь две важные функции: первая – это тепловой экран и вторая – двусторонний сорбционный почвенно-геохимический барьер. Раньше их называли «Монастырские почвы». Мы изучили их морфологию и химические свойства. Так, в самом верхнем супесчаном слое (здесь много детрита из опилок) было установлено высокое валовое содержание Pb (184 мг/кг), Zn (136 мг/кг), Cu (120(мг/кг), Fe (2695 мг/кг); Cd и Ni соответственно 0,19 и 8,6 мг/кг почвы. Подобные почвы, располагающиеся вблизи западных (внешних) стен Соловецкого Кремля, *напротив дока*, являются экологически опасными. Чтобы выяснить причину подобного химического загрязнения следует хорошо знать многие особенности прошлых производств на Соловках и утилизацию отходов.



А

В

Рис. 15. **А** – следы от крупных пожаров 1922 – 1923 гг. – мощные слои погребенных древесных углей недалеко от западной стены Соловецкого Кремля; **В** – гумусовые вещества и минералы почвы при высокой температуре во время пожаров заметно трансформируются в серую спекшуюся массу (*плотную брекчию*), и даже спустя десятки лет, она представляет собой безжизненный **пирогенный почвоподобный субстрат** (фото Яшина И.М., 2004).

Важную роль в насыщении верхнего слоя агростратозёма ионами тяжёлых металлов (ТМ) играет органогенный барьер миграции. Периодически, при временном сезонном переувлажнении профиля, из сорбционного барьера мигранты мобилизуются в подвижные формы, а при наличии гидротермического градиента (скорее всего зимой) возвращаются в

маломощный пахотный слой почвы. Отсюда они легко поступают в возделываемых овощные культуры, загрязняя их. Подобная восходяще-нисходящая пульсация ионов ТМ осложняется очень высоким содержанием доступных форм фосфора – 340-780 мг/кг почвы. Анионы фосфорной кислоты образуют труднорастворимые фосфаты ТМ, например, $Pb_2(PO_4)_3$ и другие.

Выявив экологическое состояние стратозёмов около стен Кремля, необходимо было установить источники загрязнения почвы ТМ. На наш взгляд, и х удобно дифференцировать *на внутренние и внешние*. О последних мы кратко уже говорили. Что касается внутренних источников, то они многообразные. *Это и катастрофические пожары в Соловецком монастыре (в частности, в 1922 г.),* о которых свидетельствуют мощные погребённые слои древесных углей (рис.15А), являющихся прекрасными сорбентами; использование для выделки кожи химических веществ; применение различных красок, содержащие ионы ТМ, для росписи стен и сводов храмов, а также в качестве удобрений древесной золы и морских водорослей (ламинарии и фукус).

Кратко можно констатировать: столь высокое содержание ТМ в почве вблизи стен Соловецкого Кремля отражает масштабность бывшего производства в те далёкие времена и слабое их выщелачивание из почвы.



Рис. 16. Профессор И.М. Яшин осматривает замшелые огромные валуны стены Соловецкого Кремля, на которых развивается первичный почвообразовательный процесс; кстати, толщина валунных стен здесь составляет примерно **шесть метров**, поэтому обстрел англичанами этого форпоста России в 16-18 веках с фрегатов ничего им не дал: ядра отскакивали от стен «как горох», причем подобные нападения на Соловецкую крепость предпринимались ими неоднократно (фото Л.П. Яшиной, 2004).

Глава 7. Морфологическое описание профиля почвы на «ключе»

Изучение морфологии почвы (рис.17,18) начинается с выкапывания полнопрофильного разреза (**траншеи**) и его четкой зачистки. Затем проводится *географическая привязка* почвенного разреза по топографической карте: (координаты, географическое положение: область, район, н.п.) и *топографическая привязка* (указывается точное расстояние до 2-3-х постоянных ориентиров – моста, триангуляционной вышки, линии ЛЭП и т.д.). Определив местоположение, ставят точку на карте (или укол), ещё раз проверив её положение в рельефе: на плакоре, слоне или в пойме реки (рис 15). Результаты записывают в специальный *полевой дневник почвовед*.

Затем приступают к морфологическому описанию почвенного разреза по определенной методике; этот этап очень важный и требует внимания. Целесообразно заложить катену (и ключевые участки) по линии: *плакор – склон – подошва склона – террасы – пойма реки*. Выкапывая в указанных точках разрезы, почвенную массу складывают по обе стороны шурфа на большие куски прочного полиэтилена (3x3 м²): например, слева - гумусово-аккумулятивный, а справа – нижние, менее плодородные горизонты почвы. Расстояние от края шурфа до вынутой почвы – не менее 0,7 м. Не теряя времени, другие студенты изучают микрорельеф, растительность, лесную подстилку, ищут «следы» антропогенного воздействия на биоту. Делают записи на диктофон и в полевой дневник. Студентам напоминают, что топтаться вокруг разреза нецелесообразно, особенно при установке сорбционных лизиметров.

Одновременно проводят фотосъёмку ключевого участка на цифровую фотокамеру, подготавливают мерную ленту, нож, мешочки, этикетки, 10% HCL, включают GPS навигатор и фиксируют точные координаты и абсолютные отметки местности.

Выкопав разрез, приступают к изучению морфологических свойств, отбору образцов почвы и полевому определению почвы. На одном из бортиков выкладывают *микромонолит из образцов основных горизонтов* и после их подсыхания вновь исследуют их морфологию. Тщательно зачищают все стенки шурфа, выравнивают ступеньки и приступают к изучению морфологии почвы.

Данные, как правило, записывают в дневник, делают мазки почвы и после их подсыхания заклеивают скотчем. Так сохраняется первичный материал и не осыпается мелкозём мазка. Сделав морфологическое описание, отбирают образцы почв (от 0,5 кг и более) в мешочки из плотной ткани, двигаясь в профиле снизу вверх. Написав специальную этикетку, ее заворачивают в полиэтиленовый пакетик, и кладут в мешочек с почвой. На базе, в тот же день отобранные образцы высыпают на листы крафт-бумаги *и высушивают в затененном и сухом помещении.* Затем пишут ведомость отбора образцов почв, которую кладут в ящик с упакованными образцами по разрезам.



Рис. 17. Общий вид профиля дерново-подзола контактно-осветленного супесчаного, развитого на двучленных отложениях, **ранней весной** (Лесная опытная дача РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – плакор увала; фото Яшина И.М. – 22.04. 2009).

Пример морфологического изучения почвы проведем на стационаре Лесной опытной дачи (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 17,18). Разрез выбирался с учётом истории объекта: в период Великой Отечественной войны на территории Лесной дачи располагались *аэростатные площадки, блиндажи, траншеи, действовал кирпичный завод*. Поэтому почвенный покров на значительной территории существенно нарушен до глубины 59-74 см, а двучлены в этих почвах диагностировать очень сложно. Подбирают для исследований, как правило, ненарушенные экосистемы с полно профильными и ненарушенными почвами сообразно с возрастом древесной растительности.

Квартал 7. Посадка лиственницы и сосны возраста 150-165 лет. Плакор выположенного холма. Микрорельеф в виде западинок и приствольных повышений. Ранней весной растительный покров ещё не сформировался. Абсолютная отметка местности 167 м (ошибка измерения примерно 14 м) над у.м. по GPS навигатору.

A₀ 0-2 см – слабо развитая лесная подстилка из гумифицированных хвоинок лиственницы, сосны и опада лиственных пород, рыхлая, тёмно-бурая, во влажном состоянии мажущаяся, переход ясный,

A₀/A_{1g} 2-5 см - переходный к гумусово-аккумулятивному горизонту – тёмно-серый, влажный, липкий, слабое оглеение в форме Fe-Mn примазок, непрочно комковатый, слабо уплотнённая супесь, сильно пронизан корнями растений, редко мелкие угольки, единичные камни, переход ясный,

A_{1hg} 5-12 см – серый с белёсо-палевым оттенком: мигрируемые из лесной подстилки ВОВ неоднородно прокрашивают (*вуализируют*) горизонт (видны

косые линзы ВОВ), супесчаный, непрочно плитчатый, слабое оглеение в форме сизовато-серых пятен и примазок, слабо уплотнённый, пронизан корнями растений, переход волнистый по цвету,

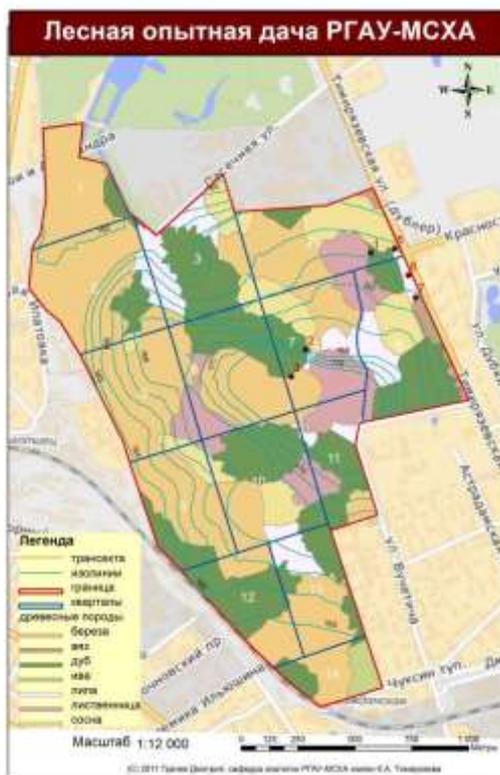


Рис. 18. Карта-схема Лесной опытной дачи (М 1: 12 000) и ключевые участки снеговой съемки в конце марта 2011 г. (№ 1-3, 5-7); составлена асп. Грачевым Д.А.(2010).

E_h 12- 19см – подзолистый горизонт, маскированный мигрируемыми ВОВ и органоминеральными соединениями, влажный, светло-серый с белёсо-палевыми разводами, супесчаный, рыхлый, непрочно-плитчатый, корни растений, переход не ясный,

В_{th} 19-34 см – частично трансформированный иллювиально-железистый горизонт, пропитан ВОВ, буровато-серый, супесчаный, влажный, слабо уплотнённый, непрочно комковатый, сильно пронизан корнями растений, мелкие Fe-Mn конкреции, редко камни, переход ясный,

EL'g 34-51 см – контактно-глееватый, влажный, крупно плитчатый, заметно уплотнённый, заиленный песок, много Fe, Mn конкреций, корни единичные, при подсыхании интенсивно белёсый и мажущийся, переход ясный,

EL/V_g 51-59 см – горизонт белёсых «язычков», внедряющихся в гор. В₂: сырой, липкий, плитчато-призматический, очень плотный тяжёлый суглинок, много камней, конкреции Fe, Mn, единичные крупные корни, переход языковатый,

В₂ 59-84 см – сырой, красновато-бурый, глыбисто-призматический, очень плотный, тяжёлый суглинок, по граням структурных отдельностей (педов) бурые плёнки, много камней, пронизан редкими и крупными

магистральными трещинами, по которым происходит нисходящая водная миграция веществ и перенос тонкодисперсного мелкозёма, переход не ясный,

В/С_(g) 84-127 см – сырой, красно-бурый, глыбистый, очень плотный, тяжелосуглинистый, много камней, по граням структурных отдельностей бурая лакировка, валунчики, переход постепенный,

С 127-154 см – почвообразующая порода, почти не затронутая процессами почвообразования: сырой, вязкий, очень плотный, глыбистый, красновато-бурый тяжёлый суглинок, валунчики и камни, копается с очень большим усилием. От 10% водного раствора НС1 мелкозём почвы не вскипает по всему профилю.

Название почвы: дерново-подзол контактно-осветленный супесчаный на двучленных отложениях (индекс на почвенной карте М 1: 10 000 - П^{к-г} у ДЧ).

На рис. 19 отчётливо видно **оглеение верхнего горизонта подзола** *после схода снега и пропитанность мелкозёма мигрируемыми компонентами ВОВ*, выщелачиваемыми атмосферными осадками из гумифицированной лесной подстилки. Контактно-глееватый горизонт очень контрастный, мощный и наиболее ярко выражен в профиле, в частности, при подсыхании разреза.

Примечательно, что корни растений располагаются глубже оглеенного горизонта – в зоне более благоприятной аэрации гор **В_{гн}**. Также хорошо выражены **белёдые миграционные языки**. Они вклиниваются в плотный иллювиальный горизонт по магистральным трещинам – это маркеры мигрантов. Следы кислотного гидролиза минералов и их выноса.

Указанные белёдые «языки» отражают траектории водной миграции продуктов почвообразования, которые образуются, безусловно, не за один или несколько лет. Это очень длительный процесс. Примечательно: профиль почвы нарастает вверх, а элювиально-глеевый (контактно-осветлённый горизонт) устремляется в глубь почвы.

Бывают ситуации, когда оподзоливание в верхней части профиля почв на двучленах проявляется максимально масштабно. Тогда возможно смыкание горизонтов подзолистого и контактно-осветлённого. В такой ситуации почву диагностируют как глубоко подзолистую, что не совсем корректно ввиду *разного генезиса верхнего и нижнего оподзоленных горизонтов: верхний EL – результат биогеохимических процессов миграции, а нижнего - глеевого.*

В данном случае необходимо доказать двучленность почвообразующей породы, и тогда глубокая оподзоленность, как рабочая гипотеза, будет снята. Также *следует установить причины трансформации соединений Fe, содержащихся в иллювиально-железистом горизонте минипodzола, их превращение в белёсый подзолистый горизонт.* Как показывают авторские исследования, такие ситуации связаны с сезонной трансформацией и миграцией соединений ВОВ из лесных подстилок с формированием фульвокислот на экосистемном уровне. До конца подобный феномен неясен, хотя многие почвоведы отмечали такую ситуацию в лесных подзолах. На рис. 19 чётко заметно локальное внедрение белёсого мелкозёма в плотный

иллювиальный горизонт – это миграционные каналы, идущие по крупным трещинам. Они опускаются вплоть до гор. С. Здесь возможны два варианта образования белёсых языков: первый – привнос тонкодисперсных частиц под защитой ВОВ (лессиваж) из выше лежащих горизонтов и второй – за счет



Рис. 19. Профиль дерново-подзола контактно-осветленного ранней весной: ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Чётко видна фрагментарная **вуализация подзолистого и иллювиально-железистого горизонтов** компонентами ВОВ и их вынос в глубь почвы по миграционным тяжам (фото Яшина И.М., начало мая 2008).

реализации элювиально-глеевого процесса *in situ*: кислотный гидролиз минералов гор. В и вынос продуктов почвообразования как после таяния снега, так и осенью – в период затяжных дождей. В эти сезоны наблюдается глубокое промачивание почвенных профилей и вынос мигрантов.

Другой особенностью подзолов на двучленах является своеобразие генезиса контактно-глееватого горизонта в профиле. Реализующийся здесь элювиально-глеевый процесс (при сезонном переувлажнении) способствует не только активной трансформации почвенных минералов, но и **формированию коллоидов Si, Al, Fe, Mn**. Наблюдения показывают, что в контрастных гидротермических условиях происходит восходящая миграция коллоидов и **постепенное заиливание горизонтов В_п и Е_п**. Однако такие наблюдения пока единичны и требуют более полного обоснования в разных ландшафтах таежной зоны.

Напомним, полевое изучение (и картографирование) почв и почвенного покрова является одним из важнейших моментов в познании экосистем. Поэтому успех реализации рабочей программы полевых исследований зависит от подготовки каждого студента (бакалавра и магистра) к практике. Подобное пожелание относится и к аспирантам, которые самостоятельно

выполняют научные исследования в лесных и аграрных ландшафтах. Такая подготовка начинается за 2-3 месяца до стационарных полевых работ и включает обычно три этапа. Первый из них связан с организационными вопросами (финансирование, формирование экспедиционной группы, оформление командировок, поиск картографической основы, заказ билетов, бронирование жилья, организация питания и др.) и экипировкой полевиков, закупкой инвентаря, канцтоваров. Недаром существует поговорка: «Не бывает плохой погоды, бывает плохая экипировка экспедиционеров». Это очень актуально для полевых изысканий на Европейском Севере (рис. 20).



Рис. 20. Коллектор Л.П. Яшина, принимавшая участие в изучении почв острова Большой Соловецкий по гранту РФФИ 2002-2004 гг., закладывает почвенный разрез в **песчаном подбуре** на сильно заочкаренном (и **неокультуренном**), низко продуктивном сенокосе недалеко от стен Соловецкого Кремля (фото Яшина И.М., июль 2004).

Второй этап связан с систематизацией и обобщением научной информации. Лучше заранее подготовить расширенный реферат по изучаемой проблеме: позже его сведения можно использовать при написании литературного обзора диссертации.

Третий - непосредственно связан с полевыми изысканиями и на начальном этапе называется «рекогносцировка». Это выборочное и внимательное знакомство с объектом (ландшафтом) на месте перед основными почвенно-экологическими наблюдениями. Не следует торопиться начинать работу, например, выкапывать разрез. Необходимо пересечь участок от плакора до подошвы склона, обойти его по периметру. Заложить серию прикопок по катене, изучить антропогенную нагрузку. На следующий день закладывают ключевые участки и приступают к выкапыванию почвенных разрезов, отмечая их местоположение на топографической карте.

Размеры шурфов зависят от цели исследования: если в профиле будут устанавливаться сорбционные лизиметры, то разрез должен быть как траншея: фронтальная стенка шириной не менее 1 м, длиной около 3 м, глубиной 1,8-2,5 м. Человек в траншее должен размещаться свободно. Такой

разрез выкапывается, например, на двучленных породах полный рабочий день. Полевые работы осуществляются поэтапно. При затяжных дождях над почвенной траншеей натягивают тент из прочного полиэтилена и продолжают работу. Стационарную площадку оконтуривают специальной лентой, и стараются по ней ходить как можно меньше. *Лучше проложить мостки, как это сделано в Ботаническом саду, в 4 км от Соловецкого Кремля. Это будет самый оптимальный вариант на долгий период работы.*



Рис. 21. Огороды на Соловках весьма небольшие по размеру, однообразные по набору овощных культур, которые часто погибают от заморозков (фото Яшина И.М., 2004).



Рис. 22. Более защищенными от *приполярной стужи* являются небольшие огороды внутри Соловецкого Кремля, усердно возделываемые монахинями, где имеется своеобразный микроклимат (**нет пронизывающего ветра даже летом**, когда погода резко изменяется каждые **2-3 часа**); грядки с овощными культурами в непогоду можно быстро закрыть полиэтиленовой пленкой; **почва здесь** – песок с торфом, удобряемая древесной золой; но в такой почве ощущается дефицит **азота, фосфора и кальция**, а также микроэлементов (фото Яшина И.М., 2004).

P.S. Если исследования планируется *проводить на Соловках*, то следует заранее и основательно подготовиться к экспедиции. Прежде всего, выбрать подходящую экипировку: на Соловках и летом может быть довольно холодно (+2-+4⁰С, **а ночью заморозки**), ветрено, сыро в течение 4-6 и более дней, потом снова тепло. Здесь много комаров. У полевиков должна быть теплая сменная одежда: крепкая непромокаемая ветровка, прочная обувь (берцы), головной убор, свитер, теплое белье. *Оптимальна поездка на Соловки в середине июля*. Здесь можно увидеть и восхищаться настоящими белыми ночами: солнце почти не заходит, если нет туч, светло как днем. Некоторые люди не могут банально заснуть – это полярный день.

Особое внимание нужно уделить маршруту на Соловецкие острова. Через Кемь не рекомендуем: эмоционально и организационно неудобно. Можно, например, самолетом из Москвы (аэропорт Шереметьево) до Архангельска (аэропорт Талаги, *если есть деньги*). Можно добираться из **Беломорска** (от ж/д станции на машине до гидроузла – 12км), предварительно добравшись сюда по железной дороге из Петрозаводска. Этот маршрут оптимальный, но продолжительный по времени. Жилье на Соловках разное – все зависит от финансов. *На сайте Соловков такая информация есть и ее нужно использовать*. Имеется сотовая связь. Банк не работает с пятницы до понедельника (данные 2004 г.). В магазинах продукты очень дорогие, но работают вполне приличные столовые, особенно вкусно готовят Беломорскую сельдь. *И еще. Нужно иметь разрешение на исследования почв и биоты. Соловки – это уникальная заповедная зона в северной тайге.*



Рис. 23. **Вид на Соловецкий Кремль со стороны школы; на фото запечатлен отлив в бухте.** Соловки посещают не только туристы, но и художники, орнитологи, почвоведы, экологи, охотоведы, физики и другие специалисты – **изучение ландшафтов, почв, недр и истории Соловков продолжается.** Тем более, что здесь где-то хранятся сокровища из Оружейной палаты Московского Кремля, вывезенные сюда еще во времена польского нашествия. Говорят, что не все реликвии были возвращены в Москву. Какая-то их часть до сих пор находится на Соловках: священники умеют хранить тайны. Возможно, сложная для изучения озерно-канальная система на Соловках поможет как-то приблизиться к пониманию и решению этой задачи? Ясно одно: пришло время для восстановления былого величия Соловецкой святыни.

Глава 8. Опыт изучения экосистем и почв тайги

8.1. Сравнительная диагностика морфологии дерново-подзолистой и серой почв Ярославской области

Рассмотрим их особенности на конкретном примере, используя не совсем корректный субстантивный подход при генетической оценке почв на типовом уровне. Отметим, что объект исследования – ландшафты учхоза «Дружба» РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (в настоящее время – это акционерное общество) расположены в южной части Ярославской области, в *подзоне южной тайги*, где распространены котловинообразные обширные понижения, центральную часть одной из которых, занимает знаменитое *Плещеево озеро*. Озёрные террасы здесь довольно чётко выражены и осложнены в пространстве сильно выположенными холмами и увалами. Ландшафты пересекают слабо разработанные речные долины. Холмы и увалы образуют своеобразные кольцевые структуры вокруг Плещеева озера на удалении 15-25 км, а сами ландшафты Переславль-Залеского региона отличаются эстетической красотой и привлекательностью (рис.24). Почвообразующие породы представлены покровными суглинками (нередко с карбонатами кальция), мореной и водно-ледниковыми песчано-гравийными наносами. Доминантами в почвенном покрове являются дерново-подзолистые почвы, характеризующиеся разной степенью эродированности и окультуривания. Эти сведения получены нами по результатам маршрутных полевых почвенно-экологических изысканий и работы на «ключках» за период 2007-2010, 2013-2015 гг. Мы их дальше кратко и рассмотрим.

В конторе учхоза «Дружба» находится крупномасштабная почвенная карта, на которой достаточно подробно закартированы серые почвы (в старой классификации СССР 1977 года их именовали как «*серые лесные*»), но на сельскохозяйственных угодьях нет лесов, поэтому такие почвы следует именовать как серые. Кстати, правильно их назвал В.В. Докучаев, а Н.М. Сибирцев некорректно добавил слово «*лесные*». Вернемся к диагностике почв. Ранее, в 1986 году, специалисты кафедры почвоведения С.-Петербургского университета *также выделяли в подзоне южной тайги (на территории учхоза) серые лесные почвы*. Специалистам известно, что серые лесные почвы распространены в зоне смешанных лесов в автономных ландшафтах, при глубоком залегании грунтовых вод, на лёссовидных суглинках, а также в северной части лесостепи, на границе с чернозёмами. Напомним, закон географической зональности, как известно, установил В.В. Докучаев. Хотя ранее знаменитый учёный Александр Гумбольдт, *разработавший закон зональности биоты на Земле*, отрицал его применимость к неживым природным объектам (почвам).

Так, какие же почвы распространены на изучаемом объекте и как правильно их диагностировать? Этот вопрос не такой простой, как может показаться на первый взгляд, а довольно сложный и интересный. С одной стороны, он обусловлен теми новациями, которые проникли в Российское

почвоведение в 90-х годах 20-го столетия. Они затрагивают диагностику почв и *стандартизацию морфологических признаков*: определённым типам почв присущи конкретные свойства, в то же время ландшафтные и экологические особенности не учитываются, якобы они не относятся к почвенной диагностике. При почвенном картировании на основе субстантивно-генетического подхода критериями выделения генетических горизонтов и типов почв являются *морфологические и физико-химические свойства*. *«То, что видим, то и есть почва»*. Звучит заманчиво и обманчиво.



Рис. 24. Ландшафты Переславль-Залесского региона Ярославской области отличаются эстетической привлекательностью (фото Яшина И.М., 2010).

С другой – недостаточной преемственностью знаний, причём новые научные положения не обязательно бывают лучше прежних.

Вот к чему это приводит. В нашем разделе книги «Дерново-подзолистые почвы» приведена фотография дерново-слабоподзолистой окультуренной грунтово-глееватой почвы. Такие почвы некорректно диагностируют как *серые лесные*. Уместно отметить, что специалисты, картировавшие подобные почвы, использовали, на наш взгляд, методические рекомендации (Классификация почв России, 1997, 2004). На странице 68 там, в частности, отмечается (цит.): *«в отличие от дерново-подзолистых почв, в серых почвах отсутствует элювиальный горизонт **EL**. Его место занимает особый гумусово-элювиальный горизонт **A/EL**»*. И далее *«на границе элювиальной и текстурной толщ может наблюдаться реликтовый второй гумусовый горизонт, ...более тёмный, чем гор. А»*. Поэтому, если руководствоваться только морфологией почвы, действительно можно диагностировать разрез с такими признаками как серую почву. Но при этом упущены два важных момента: первый – это припахивание горизонтов **EL**, **EL/B** в пахотный слой при длительном (более 60 лет) окультуривании почв в учхозе с помощью удобрений, известкования, фосфоритования и травосеяния. В результате

окультуривания был создан *мощный искусственный пахотный горизонт*, в нижней части которого образовался *слой плужной подошвы*. Данный горизонт более плотный в сравнении с пахотным, здесь застаивается влага, создаются условия сезонного анаэробнозиса, а тёмный цвет обусловлен Fe, Mn соединениями и продуктами жизнедеятельности анаэробных микроор-



Рис. 24а. Геоморфологическая арта-схема территории АО «Дружба» Переславль-Залесского района Ярославской области (фото И.М. Яшина, 2007).

ганизмов. Его ошибочно и назвали *вторым гумусовым горизонтом*. Ландшафтно-генетических причин для его образования в профиле нет. Тёмно-серые «языки» по профилю этой почвы указывают на гидрогенный характер (пульсацию верховодки) и активную миграцию ВОВ, не *свойственную серым лесным почвам*, формирующимся на плакорах при глубоком залегании грунтовых вод. Чтобы убедиться в правильности предположений *о втором гумусовом горизонте*, нужно найти такие почвы на плакоре, в лесу. Наблюдения показали, что они там не образуется.

Вопрос о серых лесных почвах в Ярославской области возник, по-видимому, из-за более благоприятных свойств таких почв, приуроченных к

озерной котловине. В разрезах окультуренных дерново-подзолистых почв на плакоре заметен очень мощный пахотный горизонт (32-37 см), глубже которого отмечено очень чёткое современное оподзоливание горизонта В, не свойственное серым почвам. Морфология таких почв подтверждает мнение почвоведов Тимирязевской научной школы: *если в зоне тайги прекратить окультуривание пахотных дерново-подзолистых почв, то они довольно быстро вернуться к исходному состоянию, характерному для почвы под лесной (таёжной) растительностью*. В почвах агроландшафтов ведущую роль играют оглеение и водная миграция веществ.

На рис.25 представлена дерново-сильноподзолистая поверхностно-глееватая почва, развитая на покровном суглинке, на сенокосе (вблизи д. Михалево). Её морфологические свойства свидетельствуют об активном элювиально-глеевом процессе, протекающим в верхних генетических горизонтах. Кстати, докторская диссертация И.С. Кауричева (1965) была посвящена оценке элювиально-глеевого процесса.

Без химической мелиорации подобные почвы не образуют мощного пахотного горизонта и по своим свойствам приближаются к лесным аналогам. Не исключено, что под лесом эта почва раньше была подзолисто-глеевая или болотно-подзолистая. Ясно, что к высокогумусированной серой почве такую почву отнести нельзя. В табл. 2 приведены химические свойства ряда почв учхоза «Дружба» Ярославской области. Они указывают на активное современное подкисление и дегумификацию верхнего горизонта, что характерно для кислотного гидролиза и выщелачивания веществ при промывном водном режиме.

И ещё одно важное дополнение: в зоне широколиственных лесов *подзолистые почвы не образуются*. Этому препятствует периодически промывной водный режим и карбонатно-кальциевые почвообразующие породы. Причём мощный гумусово-аккумулятивный горизонт в серых почвах, например, в «Тульских засеках» формируется в естественных условиях под широколиственными лесами, а в агроландшафтах учхоза (теперь это открытое акционерное общество) «Дружба» такой горизонт есть следствие антропогенного окультуривания лесных подзолистых почв.

Исходя из сказанного, можно заключить, что прежде чем совершенствовать научные подходы, разработанные В.В. Докучаевым, нужно проанализировать «преимущества» субстантивного подхода, используемого при диагностике почв Европейского Севера России.

Как отмечал Солнцев Н.А. (1973), закон географической зональности, установленный В.В. Докучаевым, *нужно будет еще не один раз защищать*, а также умело применять на практике при диагностике почв и ландшафтов.



Рис. 25. Дерново-сильнопodzолистая поверхностно-глееватая почва на плакоре моренного увала учхоза «Дружба» Ярославской области (А); и крупный план этой же почвы (В) - фото Яшина И.М. (2008).

Далее рассмотрим особенности дерново-подзолистых почв ОАО «Дружба» более подробно, на основании исследований их морфологии в катенах и химических свойств с последующей оценкой экологических рисков.

Почвенный покров учхоза «Дружба» исследовали еще в 60-70 гг. прошлого столетия. В живописных ландшафтах Переславского региона проводится практика по почвоведению, а с 2005 г. кафедра экологии также направляет сюда студентов на учебную практику. Некоторые специалисты выделяют в агроэкосистемах учхоза высокобонитетные серые почвы, но научного обоснования *этому феномену в подзоне южной тайги пока не дали*. По-видимому, это связано с использованием новой классификации почв России (2004), в которой заложен *субстантивный подход*: «что видим в профиле, то и есть типовые признаки почвы». При этом ландшафтно-генетические особенности региона и процессы почвообразования учитываются неполно, идеи Докучаевской школы развиваются слабо. Напомним, И.М. Яшин в 1986 году руководил картированием почв Рыбинского района Ярославской области в составе почвенной экспедиции МСХА имени К.А. Тимирязева: серых почв там не выявлено, хотя было обнаружено *негативное влияние* Рыбинского водохранилища на водный режим близлежащих почв и их **активное оглеение**. Возникает вопрос: почему специалисты «обнаружили» новый *тип* почв в тайге, характерный, например, для лесостепи Рязани на границе с черноземами? Это связано с изменением климата, новыми методами исследований или, возможно, с экономическими причинами?



Рис.26. Вид на **1-ю** «эрозионную катену», заложенную в полевом ландшафте на сенокосе, вблизи пруда д. Михалево; на переднем плане поле оз. пшеницы в фазе молочно-восковой спелости у д. Алексино (фото Яшина И.М., 2015).



А

В

Рис. 27. Профиль **разреза 3 (А)** дерново-сильноподзолистой легкосуглинистой почвы на склоне увала 1-й «эрозионной катены»; гумусовый горизонт р. 3 очень мощный, с плотной «плужной подошвой» почти черного цвета; **В** – профиль **разреза 6** дерново-сильноподзолистой почвы у д. Михалево, в западине на сенокосе (фото Яшина И.М., 2014).

Подчеркнем, от правильной генетической оценки типов почв зависит их стоимость, налогообложение от прибыли, аренда участков и т.д.

Рассмотрим подробно объекты исследований. Стационарные площадки в агроландшафтах учхоза были заложены в 5-ти катенах (2010-2015 гг.), включавших от 2 до 4 разрезов:

- 1-я - на эрозионном склоне увала (у пруда д. Михалево), разрезы 1-4;
- 2-я – у карьера, на сенокосе недалеко от д. Дубки, разрезы 1я-4я;
- 3-я – на плакоре, недалеко от д. Михалево, на сенокосе, разрезы 5,6;

4-я – в понижении (пашня), у поворота шоссе на д. Кабанское, разрез бя;
 5-я – на плакоре (сенокос у конторы), разрез 16я.

Полнопрофильные почвенные разрезы охватывали основные участки рельефа: плакоры, склоны и подошвы склонов (рис.1-3,5-7).

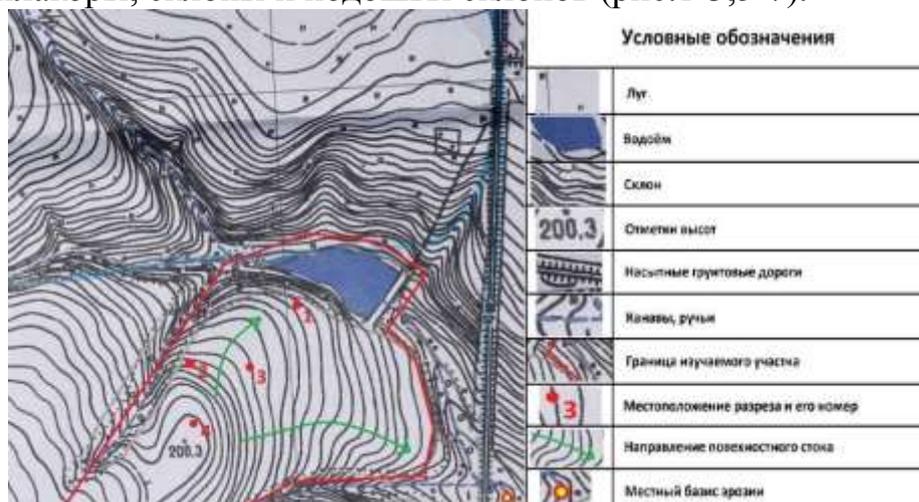


Рис. 28. Фрагмент топографической карты М1:10 000 учхоза «Дружба» (изучаемая площадь **1-й катены** околонуена красным цветом, а вероятные траектории эрозионных потоков - зеленым) на сенокосе (**разрезы 1-4**, по которым выполнена аналитическая база данных); в **разрезах 1** – в 15 м от берега пруда и **2** – у балки – установлены в профиле сорбционные лизиметры с чистыми сорбентами для оценки потоков мигрантов (фото Яшина И.М., 2014).

Использовали полевые методы изучения почв и ландшафтов – маршрутные исследования, стационарный и метод сорбционных лизиметров, а также лабораторные физико-химические методы анализа почв и растений.

Результаты исследований и их обсуждение.

Рассмотрим морфологические признаки некоторых почв **3-й катены** у д. Михалево, поскольку для р. 5 и 6 выполнен гранулометрический анализ.

Разрез 5. Заложен на плакоре увала, на скошенном сенокосе, в 420 м на С-В от д. Михалево и на С от шоссе в 80 м. Абсолютная отметка местности: 217 м над у.м. На поверхности почвы много микрозападин и ложбинок стока. Растительность окультуренного сенокоса представлена тимофеевкой луговой, ежой сборной, овсяницей луговой, костром безостым и клевером луговым. Верхние горизонты почвы (полоса вблизи шоссе) *антропогенно эродированы* за счет отсыпки грунта для полотна дороги при ее строительстве, поэтому карбонаты кальция залегают в профиле нетипично близко к поверхности. По морфологии **это не серая почва**. Индексы почв даны по [32, 34].

A_d	0-2 (2)	Слабо развитая дернина из живых корней: локально куртинки растений, много детрита и растительных остатков.
A₁	2-20(18)	Свежий, серый, легкосуглинистый, комковато-плитчато-пылеватый, средне уплотненный, корни растений, переход резкий.
B₁	20-53(33)	Свежий, палевый с почти черными длинными затеками ВОВ (<i>признаки водной миграции веществ</i>), среднесуглинистый, очень плотный, ореховато-призматический, по граням педов темно-серые и буроватые примазки, переход резкий по

		вскипанию от 10% HCL.
B_{2Ca}	53-79(26)	Влажный, светло-палевый, среднесуглинистый, комковато-призматический, очень плотный, мелкая дресва и округлый щебень CaCO ₃ , от 10% HCL сильно вскипает дресва и мелкозем при его подсыхании, локально темно-серые затеки.
B_{3Ca}	79-115(36)	Сырой, светло палевый, тяжелосуглинистый, комковатый, средне уплотненный, много дресвы CaCO ₃ , от 10% HCL бурно вскипает дресва и мелкозем уже <u>без его подсыхания</u> , переход постепенный по влажности.
BC_{Caг}	115-141(26)	Мокрый (при стоянии в разрезе появляется вода), буровато-палевый, тяжелосуглинистый, липкий, комковатый, <i>ожелезнение</i> выявляется при подсыхании мелкозема в форме диффузионно размытых пятен и примазок Fe-Mn на педах . От 10% HCL бурно вскипает дресва и мелкозем почвы.

Почва: дерново-слабоподзолистая техногенно эродированная грунтово-глееватая легкосуглинистая на лессовидных (покровных) карбонатных суглинках.

Разрез № 6. на С от **разреза 5**, прямо к лесу, в 85 м. Нижняя 1/3 очень пологого склона увала северной экспозиции. Абсолютная отметка местности 215 м над у.м. Сенокос окультуренный (скошен). Растительность: тимофеевка луговая, ежа сборная, овсяница луговая, костер безостый, клевер луговой. Состояние поверхности почвы: ярко выражен *микрорельеф в виде потяжин и ложбинок стока*, сглаженные бугорки; дернина верхних горизонтов почв (по ложбинам) локально закорочена.

Морфологическое описание профиля **разреза 6.**

A_д	0-1 (1)	Дернина из живых корней: плотная, локально куртинки растений, много детрита и растительных остатков, рядом кротовины, переход резкий, заметны мелкие угольки.
A₁	1-26(25)	Свежий, серый, легкосуглинистый, комковато-пылеватый, плотный, корни растений, много ходов червей и копролитов на глубине 8-12 см, мелкозем локально перемешан грызунами (кротовины на поверхности почвы), переход резкий по цвету.
EL_г	26-41(15)	Свежий, интенсивно белесый в сухом состоянии, супесчаный , слабо уплотненный, пластинчатый, по граням педов темно-серые и буроватые примазки, много Fe-Mn мелких конкреций, диффузионно размытых примазок, но они локальные (поэтому мазок в полевом дневнике палево-белесоватый), переход языковатый.
EL/B_г	41-61(20)	Влажный, белесо-палевый, среднесуглинистый, мелко глыбистый с плитчатыми педами, очень плотный, дресва мелкая и щебень, но от 10% HCL не вскипает, локально по граням структурных отдельностей четкие темно-серые и бурые затеки и примазки, переход постепенный.
B_{1г}	61-95(34)	Сырой, палевый, тяжелосуглинистый, мелко глыбистый, очень плотный и вязкий, от 10% HCL не вскипает, по граням педов буро-серые примазки, много мелких Fe-Mn конкреций (<i>оглеение по всему горизонту ярко выражено, возможно, раньше это был глеевый горизонт</i>), переход постепенный по влажности.
		Мокрый (<i>с 141 см сочится вода</i>), буровато-палевый с четким сизоватым оттенком, тяжелосуглинистый, липкий, комковато-мелкоглыбистый, ожелезнение выявляется при подсыхании мелкозема в форме диффузионно размытых

BC_g	95-141(46)	пятен и примазок на педах. От 10% HCL не вскипает.
-----------------------	------------	--

Почва: дерново-сильнопodzolistая глееватая легкосуглинистая на покровных бескарбонатных лессовидных суглинках.

Анализируя морфологию почвы **разреза 6**, отметим, если бы в аграрных и других ландшафтах учхоза «Дружба» были распространены **серые** почвы с очень мощным гумусовым горизонтом на карбонатно-кальциевой почвообразующей породе, то подобного *яркого подзолообразования* в почве не наблюдалось, а в понижениях рельефа формировались бы те же **серые, но оглеенные почвы, трансформируемые затем в дерново-глеевые аналоги; процесс подзолообразования в серых почвах**, например Тульской области, резко затормаживается вследствие карбонатно-кальциевого барьера миграции и усреднения органических кислот катионами кальция (рис. 5).

В лесных ландшафтах *южной тайги, по понижениям*, распространены болотно-подзолистые почвы с очень мощными подзолистым и глеевым горизонтами. При сведении леса подзолистый горизонт нередко остается, что и наблюдается в почвах учхоза. Мощный гумусовый горизонт создается здесь в результате *окультуривания подзолистых и дерново-подзолистых почв* за счет известкования, травосеяния, внесения удобрений - не как в лесостепной зоне – под лесами. Это ключевой факт.

Поэтому в классификации почв деятельность агрономических служб агрохолдингов, фермерских и иных хозяйств должна находить отражение в виде уровней окультуривания почв: слабо-, средне- и высокоокультуренные почвы. Если же почву назвать, например, «агрозем», то утрачивается роль специалистов, занятых не только возделыванием культур, их хранением и переработкой, но и повышением (поддержанием) уровня плодородия почв, созданием экологически безопасного земледелия. Что касается термина «серые почвы», то он был предложен еще В.В. Докучаевым³, а его ученик Н.М. Сибирцев добавил слово «лесные», что не совсем правильно: на пашне ведь нет леса.

Серые почвы формируются под широколиственными лесами в лесостепной зоне и нередко в Заокских ландшафтах Подмосковья на карбонатно-кальциевых породах. При раскорчевке лесной растительности мощный гумусовый горизонт серых почв *не деградирует, он остается и под пашней*. Этот факт обязательно нужно знать и учитывать при диагностике. Однако и здесь не все так просто и понятно. Неясно, например, почему в таежных лесах *биогеохимический круговорот сопряжен с ярко выраженным подзолообразованием*: этому биогеохимическому потоку Фокин А.Д. (1975) отводит решающую роль в оподзоливании почв, а водная миграция имеет подчиненное значение. Хотя и в широколиственных лесах также имеется

³ **В.В. Докучаев** помог своему ученику Н.М. Сибирцеву в разработке первого учебника по почвоведению, однако в соавторы своего учителя Н.М. Сибирцев не пригласил. Напомним, **В.В. Докучаев** организовал также **первую в Российской империи** кафедру почвоведения; в настоящее время на этом месте находится известный сельскохозяйственный институт, в польском городе **Пулавы**.

мощный биогенный поток химических элементов, *вовлекаемых в биомассу*, но яркого подзолообразования почв не наблюдается. В чем причина такого феномена пока неясно, а ведь это один из ключевых вопросов почвоведения.



А

В

Рис.29. **А** - профиль подзола контактно-осветленного супесчаного на двучленных отложениях в ельнике-кисличнике на плакоре мореного увала АО «Дружба» - к северу от **разреза № 6** в 523 м; **В** - профиль дерново-подзола контактно-осветленного супесчаного, развитого на двучленных отложениях, заложен на опушке дубравы, на плакоре; здесь контактно-осветленный горизонт маскирован компонентами ВОВ и Fe-органическими комплексными соединениями в черный цвет (через **35-45** минут черный цвет почти исчезает, появляется яркая белесость, что типично для **полифенолов**, а ими богата водная вытяжка из листьев дуба); фото И.М. Яшина (июль, 2015).

Перейдем к рассмотрению химических свойств почв учхоза «Дружба» на примере 1-й «эрозионной катены» (рис.28,табл.2). Дерново-слабоподзолистая **намытая почва** (рис. 30, справа), приуроченная к подошве склона, отличается слабокислой реакцией среды по всему профилю (рН варьирует в пределах 5,1 –5,3 и лишь на глубине 80-100 см увеличивается до 5,7- 6,7), органическое вещество характеризуется *заметной подвижностью в осенне-весенний период*: на это указывает невысокое содержание общего гумуса и его почти равномерное распределение по почвенному профилю, а корни проникают неглубоко. В модельном лабораторном опыте, проведенном нами в 2010 году, водой из образца почвы, взятого из гор. А_{пах}, выщелачивалось за сутки 15-18% С_{орг} от общего содержания органического углерода. Водный раствор 0,1н. щавелевой кислоты был заметно активнее – десорбция составила около 23-25% С_{орг} от общего углерода в почвенном образце. Причем, вытесненные из почвы оксалат-ионами компоненты ВОВ проявили стимулирующее действие на растения

Таблица 2

Химические свойства почв катен учхоза «Дружба» Ярославской области
(отбор проб почвы в июле 2014 г.)*

Горизонт и глубина отбора образцов, см	рН _{KCl}	Орган. в-во, по Тюрину, %	мг-экв на 100 г почвы			Подвижные формы	
			Нг	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
1-й Стационарный склоновый участок у пруда, недалеко от д. Михалево: разрезы 1-4.							
Р. 1. Подошва склона увала на сенокосе (рядом с базисом эрозии). Дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая погребенная на покровных суглинках.							
A_{пах} 0-22	5,1	1,8	2,3	12,6	4,4	238	122
A ₁ 22-28	5,4	1,7	2,0	10,2	3,0	140	105
A₁ 22-31 (2-я повт.)	5,3	2,5	2,3	12,7	3,1	195	140
EL/B 38-48	5,0	0,8	2,2	14,5	5,4	62	149
B ₁ 59-69	5,3	1,2	1,8	13,6	5,2	225	212
A₁^{пог} 69-75	5,3	1,0	1,8	14,0	5,5	179	213
A₁^{пог} 69-75 (2-я повт.)	5,3	1,0	1,8	14,4	5,6	165	197
B ₂ 80-90	5,7	0,7	1,2	14,1	5,4	286	235
BC 90-100	6,7	0,6	0,5	16,3	5,5	206	205
Р.2. У лесополосы (западина на склоне). Дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая грунтово-глееватая на бескарбонатных покровных суглинках.							
A₁ 10-20	5,4	1,9	2,3	10,7	2,4	128	149
EL/B 40-50	4,8	0,8	2,7	13,9	4,8	62	130
B ₁ 75-85	4,0	0,9	4,2	13,1	5,8	52	113
BC 90-100	4,1	0,8	3,8	13,8	6,4	110	119
Р.3. Сенокос. Склон увала В экспозиции. Дерново-сильноподзолистая грунтово-глееватая легкосуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках.							
A_{пах} 0-22	4,8	2,7	3,7	9,7	2,1	113	77
A ₁ 23-32	5,0	1,8	2,5	8,9	1,8	110	68
EL 31-40	4,9	1,3	2,1	9,0	2,2	143	104
EL/B 50-60	4,7	0,7	2,5	14,0	4,7	100	103
B ₁ 70-80	5,1	0,8	2,2	16,3	5,9	83	105
Р. 4. Плакорный участок на склоне. Дерново-слабоподзолистая среднесмытая среднесуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках.							
A_{пах} 0-22	5,3	1,6	2,2	10,4	2,4	251	525
B ₁ 24-34	4,7	0,8	2,6	9,5	2,3	238	1164
B ₂ 43-53	4,1	0,7	3,6	10,6	2,9	292	783
BC 71-81	4,8	0,6	1,9	14,0	4,7	304	138
2-й стационарный участок на сенокосе недалеко от шоссе и небольшого пруда. Р. 5-7.							
Р.5. Плакор увала, сенокос рядом с шоссе у д. Михалево. Дерново-слабоподзолистая остаточного-карбонатная легкосуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках.							
A₁ 2-12	4,5	2,4	4,4	11,0	3,7	50	113
B ₁ 23-33	4,3	0,8	3,6	13,9	5,3	119	121
B_{2ca} 43-53	6,4	0,6	0,8	15,5	4,9	141	58
B_{3ca} 88-98	6,7	0,5	0,4	16,6	5,3	63	50
BCca 125-135	6,9	0,9	0,4	17,6	5,5	62	50
Р. 6. Западина на сенокосе недалеко от д. Михалево (малый пруд). Дерново-сильноподзолистая грунтово-глееватая легкосуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках.							
A ₁ 9-19	4,6	2,8	5,5	7,9	1,4	52	41
EL 28-38	4,5	2,7	4,2	5,9	1,0	132	25
EL/B 46-56	4,0	1,1	4,5	8,8	3,4	118	56
B _{1g} 80-90	5,2	2,1	3,3	14,9	6,0	66	99

- Анализы выполнены в сертифицированной лаборатории ГЦАС «Московский».

люпина в модельном опыте. Гидролитическая кислотность по изученным профилям, как правило, невысокая (исключение составляют р.5 и 6, где она достигает 4,4-5,5 мг-экв. на 100 г. почвы). Кислотность способствует мобильности органического вещества дерново-подзолистых почв. Содержание доступных форм фосфорной кислоты в дерново-подзолистых почвах тесно связано с кислотностью почв: аналоги со слабокислой реакцией (разрез 1) характеризуются повышенным содержанием мобильных фосфатов. При оглеении и усилении кислотности до pH менее 5,0 наблюдается дефицит в почвах анионов фосфорной кислоты вследствие формирования труднорастворимых осадков $AlPO_4$, $FePO_4$. При близком залегании к поверхности почв $CaCO_3$ (р.5) содержание доступных форм фосфатов также заметно уменьшается из-за образования труднорастворимых форм $Ca_3(PO_4)_2$.

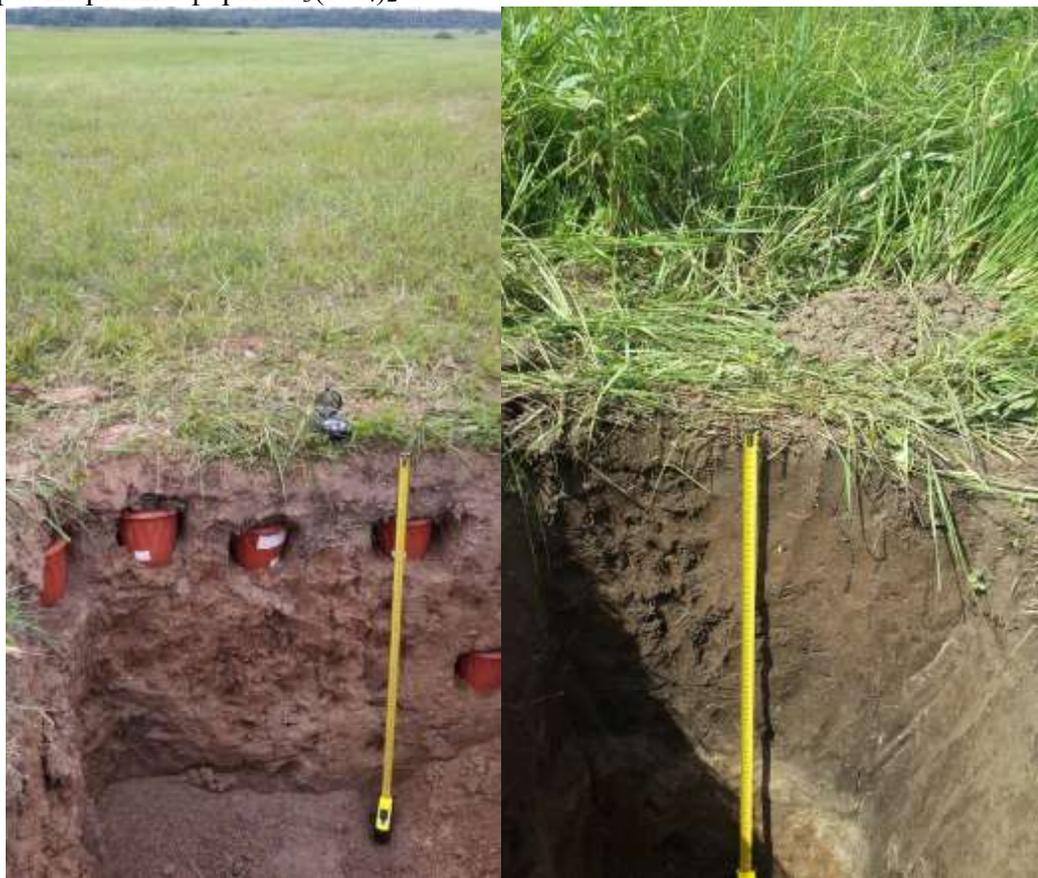


Рис.30. Слева - сорбционные лизиметры в профиле разреза № 5; их установили студент-эколог РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Артур Кашаев и соискатель кафедры экологии Рамиз Атенбеков в АО «Дружба»; в подготовке сорбционных колонок участвовали студенты-экологи А. Щербаненко и А. Кузнецова факультета ПАЭ; справа – разрез №1 - дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая погребенная почва на сенокосе в нижней 1/3 склона увала, у пруда д. Михалево (фото И.М. Яшина, 5.07.2015).

В этих условиях катионы кальция являются конкурентами ионам калия при их поступлении в растения. На одном из участков отмечено очень высокое содержание обменно поглощенного калия (р. 4), что, по-видимому, связано с неравномерным внесением калийных удобрений (это артефакт).

Особого внимания заслуживает оценка кислотности в разрезе 5 (рис.30, слева). Здесь, при близком залегании к поверхности почвы $CaCO_3$ (от 10% хлористоводородной кислоты бурно вскипают как дресва и окатанный щебень, так и почвенный мелкозем, что очень важно) верхние генетические горизонты данной почвы имеют сильнокислую реакцию среды (pH 4,5-4,3).

Таблица 3

Химические свойства почв в катенах учхоза «Дружба» Ярославской области
(отбор проб почвы в июле 2009-2010 г.)

№ разреза	Горизонт и его мощность, см	Образец (см)	pH _{ккл}	Нг	Сумма обменных оснований		Подвижные формы, мг/кг	
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
					мг-экв. на 100 г.			
Агроландшафт сенокосный (у карьера – подошва склона микро повышение); почва: освоенная дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на покровных суглинках								
1-я	A ₁ 2-28	10-20	5,2±0,3	2,6±0,7	12,7±0,4	2,7±0,1	35±7,3	118±12,1
Агроландшафт сенокосный (у карьера – подошва склона, микрозападина); почва: окультуренная дерновая грунтово-глееватая намытая легкосуглинистая на покровных суглинках								
4-я (1-повт.)	A ₁ 3-34	10-20	5,4±0,2	2,4±0,9	10,5±2,1	2,0±0,8	193±12,7	326±7,7
	A ₁	20-30	5,4±0,3	2,3±0,4	11,0±2,2	2,2±0,5	133±8,3	166±4,9
	A ₁	30-40	5,1±0,2	2,9±0,6	10,9±1,8	2,2±0,3	78±5,4	98±3,3
	A ₁ ^{пов} 34-63	50-60	5,1±0,4	2,5±0,3	13,0±2,4	2,4±0,7	80±4,2	48±1,8
	B _g 63-81	70-80	4,8±0,1	4,1±1,1	13,1±1,7	4,3±1,1	147±5,9	151±8,3
Агроландшафт сенокосный (у карьера – подошва склона, микрозападина); почва: окультуренная дерновая грунтово-глееватая легкосуглинистая на покровных бескарбонатных суглинках								
4-я (2повт)	A ₁ 3-34	3-13	5,3±0,3	4,6±0,9	20,9±4,4	5,8±0,5	61±2,8	134±5,1
	A ₁	13-23	6,0±0,4	1,7±0,4	10,4±1,3	2,0±0,2	173±9,5	139±4,4
Агроландшафт полевой (посев ячменя у д. Михалево) – блюдцеобразная западина; почва: освоенная дерновая грунтово-глееватая легкосуглинистая на покровных суглинках								
6-я	A _p 0-26	10-20	6,0±0,2	2,0±0,2	15,1±1,7	3,8±0,9	359±3,1	250±8,9
	G 37-59	44-54	4,8±0,4	2,4±0,2	17,3±2,2	5,1±0,4	30±1,2	100±3,1
Агроландшафт сенокосный (у конторы учхоза) – плакор увала; почва: окультуренная дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая на покровных бескарбонатных суглинках								
16-я	A ₁ 4-37	4-14	6,0±0,3	1,9±0,1	14,2±1,4	3,8±0,3	489±7,2	197±7,9
	A ₁	20-30	6,0±0,3	1,8±0,2	12,1±0,9	3,3±0,2	366±2,9	171±4,1
	B ₁ 37-62	43-53	4,8±0,4	2,9±0,3	13,1±0,7	4,2±0,1	24±0,5	115±3,9

Почему же нижние горизонты, насыщенные ионами кальция, не оказывают положительное влияние и не компенсируют в почвенно-поглощающем комплексе гор. A₁ и B₁ высокое содержание ионов водорода и алюминия? Это связано с одной из главных почвенно-экологических особенностей ландшафтов южной тайги – активной внутрипрофильной миграцией водорастворимых органических веществ (ВОВ) с кислотными и комплексообразующими свойствами. В условиях низкого содержания в почвах таежных экосистем гумуса и элементов питания биота сформировала эффективный биогенный механизм адаптации к весьма суровым условиям существования – это механизм нами назван как «биогенная кислотность». Поэтому векторы миграции ионов кальция вверх из гор. B₂Ca за счет гидротермического градиента и вертикально вниз ионов водорода (в форме органических кислот из дернины и гумусового горизонта при промывном водном режиме) оказываются по масштабу неравнозначными: заметно преобладает миграция кислотных компонентов ВОВ и органоминеральных комплексных соединений вглубь почвы. Это еще одно прямое

доказательство, что в условиях южной тайги Ярославской области – даже на карбонатно-кальциевых породах - формируются *не серые почвы*, а остаточные карбонатные дерново-подзолистые почвы с кислой реакцией веществ гор. **A₁**. Подкисление отмечено нами и в черноземах, в плужной подошве гор. **A₁**, на фоне общего подщелачивания (осолонцевания) профиля. *Этот интересный факт требует дальнейшего изучения и обоснования.*

При освоении таежных (лесных) почв под пашню биогенное кислотообразование, которое было давно задано таежной древесной растительностью и плесневыми грибами-кислотообразователями (как важнейший фактор функционирования и адаптации таежной биоты), не исчезает, а принимает иные формы. Ведущую роль в кислотообразовании в



Рис. 31. **A** - профиль дерново-слабоподзолистой поверхностно-глееватой легкосуглинистой почвы (сенокос, разрез 1я, см. табл. 2); заметно, что подзолистый процесс не исчезает, а углубляется ниже гумусового горизонта **A₁** в иллювиальный гор. **B**; **BOB** активно мигрируют в сезон дождей, и могут маскировать белесые «языки» в серый цвет (см. фото 6B), создавая иллюзию мощного гумусового горизонта; **B** – почва с признаками «плужной подошвы», затеками **BOB** и грунтовым оглеением – обширная западина к востоку от д. Михалево, посев овса; после дождей в 2009 году верховодка появилась с глубины 78-84 см (фото Яшина И.М., 2009, 2010).

в почвах агроэкосистем играют плесневые грибы и в меньшей мере бактерии. В почвах агроландшафтов оглеение становится ведущим процессом наряду с кислотным гидролизом минералов и выщелачиванием веществ. В плужной подошве (рис.30, справа; рис. 31,В) плесневые грибы и развиваются. Они выделяют органические кислоты, алкалоиды и микотоксины. Последние относятся к суперэкоксикантам. Под сенокосом (поле у карьера, к Ю от д. Дубки) дерново-подзолистые почвы в 2009 году отличались низкой степенью окультуренности (рис.31,А): имели слабокислую реакцию, низкое содержание гумуса (1,5 – 2,3%). Содержание доступных форм фосфора и калия было весьма неравномерное по профилям

Таблица 4

Гранулометрический состав дерново-подзолистых почв учхоза «Дружба»
(отбор проб почвы проведен в июле 2014)

Горизонт, глубина отбора образцов, см	Размер частиц мелкозема (мм) и их содержание в % (метод пипетки, по Н.А. Качинскому)							
	1,0- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01	>0,01
Р. 1. Подошва склона увала на сенокосе (рядом с прудом). Дерново-слабоподзолистая намытая среднесуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках.								
A_{пах} 0-22	0,6	23,4	39,9	10,7	11,0	14,4	36,2	63,8
A ₁ 22-28	0,7	13,3	53,1	11,0	10,2	11,6	32,8	67,2
A ₁ 22-31 (2-я повт.)	0,6	29,0	38,1	9,7	11,2	11,3	32,3	67,7
EL/B 38-48	0,2	8,5	43,1	7,7	9,2	31,4	43,8	51,7
B₁ 59-69	0,4	11,3	40,3	9,3	10,1	28,7	48,1	51,9
A ₁ ^{пог} 69-75	0,3	8,0	44,5	7,7	12,0	27,6	47,3	52,7
A ₁ ^{пог} 69-75 (2-я повт.)	0,2	9,5	42,3	9,8	7,2	31,0	48,0	52,0
B₂ 80-90	0,2	7,8	46,8	8,7	10,9	25,6	45,3	54,7
BC 90-100	0,4	11,9	42,0	8,1	14,9	22,8	45,8	54,2
Р. 6. Западина на сенокосе недалеко от д. Михалево (малый пруд). Дерново-сильноподзолистая грунтово-глееватая легкосуглинистая на бескарбонатных покровных суглинках.								
A ₁ 9-19	2,2	13,6	57,6	12,0	8,7	6,0	26,7	73,3
EL 28-38	3,0	27,9	50,3	9,8	3,9	5,1	18,8	81,2
EL/B 46-56	0,6	18,0	35,4	15,9	8,1	22,1	46,0	54,0
B_{1g} 80-90	0,9	12,7	39,7	8,9	9,7	28,0	46,7	53,3

почв и в пространстве. В учхозе удобрения долгое время не использовали (склад удобрений разрушен), почвенно-агрохимические материалы и карты также не применяли, увлекались лишь травосеянием. Но с 2014 г. стали вносить оптимальные дозы удобрений. Напомним, что уровень плодородия почв сельскохозяйственных угодий зависит от рационального внесения удобрений и известкования почв в условиях тайги (табл.3). Установлено, дерновые почвы мезо понижений и блюдцеобразных западин учхоза являются наиболее плодородными. Их и принимают чаще всего за серые почвы, если руководствоваться только морфологией почв, не учитывая ландшафты и процессы почвообразования. Лимитирующим фактором в дерновых почвах является близкое залегание грунтовых вод, оглеение нижних слоев профиля, масштабная мобилизация в раствор ВОВ с кислотными свойствами, избыток закисных форм Fe, Mn, способствующих осаждению фосфатов. Гумусовые горизонты дерновых оглеенных почв (р.6я) имеют низкую кислотность, хорошо обеспечены доступными формами фосфатов (360 мг/кг) и обменно поглощенного калия (250 мг/кг). Глеевые горизонты отличаются среднекислой реакцией (рН = 4,8) и очень низким содержанием доступных фосфатов (30 мг/кг) из-за их осаждения на минералах в форме труднорастворимых фосфатов алюминия и железа. Окультуренные дерново-подзолистые почвы встречаются в учхозе небольшими контурами и чаще вблизи населенные пунктов – Дубки, Михалево и Алексино. Такие почвы имеют весьма благоприятные агроэкологические свойства, низкую кислотность и высокое содержание

доступных форм элементов питания в верхних горизонтах (табл.2,3). Один из контуров этих почв на карте расположен недалеко от конторы, у автобусной остановки. Однако окультуривание почвы (внесение извести, удобрений в предыдущие 50-60 лет) *затрагивает только верхние горизонты почв, с глубиной химические свойства сравнительно слабо изменяются в сравнении с почвами лесных экосистем: резко увеличивается кислотность и существенно уменьшается содержание доступных форм фосфатов в нижних иллювиальных слоях В₁. Здесь гор. А_{пах} залегает на гор. В.*

Обратимся к результатам гранулометрического состава изучаемых почв по двум разрезам почв – 1 и 6 (табл.4). Эти сведения актуальны, поскольку, во-первых, позволяют уточнить сложение профилей почв (однородное или двучленное), во-вторых, углубить представления о структуре и физических свойствах почв. Известно, например, что почвы с двучленным сложением на территории Европейского Севера имеют в пределах первого метра резкое изменение гранулометрического состава: *супеси и легкие суглинки в профиле сменяются средними и тяжелыми суглинками (через градацию).* На плакорах увалов, в лесных фациях, подобные почвы распространены широко. После сведения леса и распашки профили текстурно-дифференцированных почв изменяются. *При полевом картировании их установить бывает непросто.*

Сложение одной из почв (*разрез 6, рис. 27; и почва рис. 29*) подчиняется данной закономерности. *При этом горизонты А₁ двучленных профилей агроландшафтов учхоза включают припаханные горизонты А₁, Е_g, В_f микроподзола, который был техногенно деградирован.* Двучлены интересны в том отношении, что они являются прекрасными водоупорами и широко распространены в ландшафтах РФ. Там, где залегают почвы на двучленных породах, всегда присутствует *переувлажнение и оглеение почвенных профилей.* В этих почвах активизируются процессы денитрификации, водной миграции ВОВ, появляются закисные формы железа и марганца, ухудшаются физические свойства, отмечается высокое содержание обменного алюминия, токсичного для растений, а из газов – СН₄ и Н₂С. Двучленность почв в учхозе *обычно нарушена из-за природной и антропогенной эрозии, а к дневной поверхности подходит плотный иллювиальный горизонт В.* Постепенно такие почвы утрачивают уровень плодородия и производительную способность, при этом гранулометрический состав становится весьма неблагоприятным – тяжелосуглинистым. Активизируют водную эрозию почв в учхозе также и *«чистые пары»* на склонах, а дополняет ее обработка почв (боронование, культивация, фрезерование, зяблевая вспашка) *при избыточной влажности пахотного слоя.* Происходит налипание частиц почвы на лемеха, лапы культиваторов и стаскивание мелкозема к краю поля: так уменьшается мощность пахотного слоя и его гумусированность. Высказанные соображения подтверждаются сведениями о распределении фракций *«физической глины»* (частицы почвы менее 0,01мм) в профиле **p.1** (табл.4). В верхних горизонтах данной почвы состав мелкозема среднесуглинистый, а с глубины **34 см** – тяжелосуглинистый (водоупор).



Рис. 32. Слева (А) - профиль дерново-слабоподзолистой легкосуглинистой почвы в верхней трети склона увала (разрез 4, посев **викоовсяной смеси** на зеленый корм-**2009 год**); при окультуривании почв в подзоне южной тайги подзолистый процесс не исчезает совсем, а углубляется ниже пахотного горизонта; справа (В) – та же почва **через 5 лет** на сенокосе в засушливое лето: заметна припаханность, увеличение мощности подзолистого горизонта на левой боковой стенке разреза (фото И.М. Яшина, А-2009; В-2014).

Данная почва - **намытая** (погребенный горизонт залегает глубже **50 см** в профиле) и по контуру на карте сопряжена с вышележащей по склону **смытой дерново-слабоподзолистой почвой**. При крупномасштабной почвенной съемке (один разрез закладывается на площади 20 га) подобные детали агроэкологических процессов нередко упускаются: на почвенной карте обычно указывается только степень эрозии - смытости. Поэтому в наших изысканиях маршрутные исследования почв дополнялись стационарными наблюдениями и работой на «ключках». Они позволяют уточнить генезис почв и, в частности, констатировать, что почв «со вторым гумусовым горизонтом⁴» в учхозе не существует: это *обычные намытые почвы*, тяготеющие к западинам и подошвам склонов. *Субстантивный подход* «проигрывает» Докучаевкой концепции полевой диагностики почв с динамичными почвообразовательными процессами, например, в зонах тайги и лесостепи. «Что видим в профиле, то и есть почва» - этот термин некорректный – его нужно уточнять оценкой ландшафтной ситуации. Например, можно найти похожие по морфологии дерново-карбонатные почвы *Каргопольской суши Архангельской области* и черноземы на элювии известняков Саратовской области. Морфология и химические свойства их будут довольно близкие, но реализация их производительной способности и

⁴ Трактовать почвы со **«вторым гумусовым горизонтом»** - нужно внимательно, учитывая залегание почв по рельефу и их историю (почвы в прошлом неоднократно зарастали лесом и вновь осваивались).

биологическая активность будут разные – они функционируют в неодинаковых условиях климата. *Морфология – начальный этап исследования почв; субстантивный подход при диагностике и классификации почв правомерен для пустынных и полупустынных ландшафтов: здесь свойства не изменяются очень долго.*

Продолжим рассмотрение результатов гранулометрического состава почвы разреза 6. Перераспределение частиц ила и физической глины в составе мелкозема (р. 6 в западине, рис. 27,В) имеет элювиально-иллювиальную направленность, типичную для почв тайги. В современном подзолистом горизонте E_g (очевидно, этот горизонт, состоит из собственно подзолистого и контактно-осветленного в почвах на двучленах, объединенных при распашке лесных почв) наблюдается оглеение, разрушение почвенных минералов, формирование комплексных Fe, Al-органических соединений и их перераспределение в профиле. Эти особенности соответствуют классической трактовке оподзоливания почв в условиях агроландшафтов подзоны южной тайги. Однако до сих пор не ясно, почему именно на такой глубине протекает кислотный гидролиз и формируется подзолистый горизонт, а не сразу под дерниной, как в лесу – под лесной подстилкой? На эту важную генетическую деталь оподзоливания почв агроландшафтов почвоведы почему-то не обращали должного внимания.

На наш взгляд, подобный генетический феномен оподзоливания в пахотных дерново-подзолистых почвах связан с процессом *хроматографии* (сорбции-десорбции и фракционированием при динамической миграции) ВОВ и иных соединений в минералах (и гумусовых веществах) горизонтов $A_{пах}$ и A_1 при промывном водном режиме. При взаимодействии и водной миграции органоминеральных солей гетерополярного типа с почвенными коллоидами и минералами гор. A_1 происходит распад солей и ионообменное поглощение высвободившихся катионов. Свободные от катионов органические кислоты осуществляют гидролиз минералов на глубине их наибольшего формирования и активности – глубже гор. $A_{пах}$ и A_1 . Наряду с фульвокислотами дополнительным источником органических кислот могут быть продукты жизнедеятельности плесневых грибов (микотоксины, алифатические органические кислоты, антибиотики), накапливающиеся в горизонтах «плужной подошвы» горизонта $A_{пах}$ при оглеении и дефиците свободного кислорода. Причем, *агротехническое почвоуглубление и травосеяние не устраняют данную проблему полностью*: оподзоливание устремляется глубже $A_{пах}$ даже в очень мощных (окультуренных пахотных слоях) – в иллювиальный горизонт – рис. 32А,В. Для изучения этого явления и используются сорбционные лизиметры. С их помощью удастся в первом приближении определить масштаб мобилизации ВОВ из растительного опада и последующую водную миграцию, участие в обновлении структур гумусовых веществ почвы.



Рис. 33. Природная хроматограмма продуктов деградации гумусовых веществ чернозема на 2-й надпойменной террасе р. Большой Колышлей в учхозе «Муммовское» Аткарского района Саратовской области (фото И.М. Яшина, 2012).

Возможно, указанный механизм фракционирования ВОВ и ионообменной сорбции веществ реализуется и в *подзолистых почвах лесных фаций тайги*. То есть благоприятные циклы формирования и аккумуляции под лесной подстилкой гумусовых веществ (типа гуминовых веществ) чередуются с процессами их фракционирования, ионной сорбции-десорбции и выщелачивания. В результате и образуется белесый подзолистый горизонт и хроматограмма веществ, принимаемых в качестве горизонтов почв. Особенно наглядно эти процессы, связанные с «расцветчиванием» песка и супеси соединениями железа при их сезонной трансформации, можно наблюдать в подзолах на двучленах (древнем аллювии и др.) тайги и в черноземах речных террас, например, в Саратовской области при их деградации и дегумификации (рис. 33).

В дальнейшем нами были исследованы (совместно со студентами 205 группы факультета ПАЭ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева **почвы и урожайность оз. пшеницы** в фазе молочно-восковой спелости по элементарным геохимическим ландшафтам (ЭГЛ): в автономном (или элювиальном), транс элювиальном (склоновом) и транс аккумулятивном (подошва склона увала). Приводим эти данные.

1. **Стационарная площадка № 1** (см фото 34) в транс аккумулятивном ЭГЛ.

- количество растений на 1 м² – **546** (среднее из 3-х повторностей);
- средняя высота растений оз. пшеницы – **98** см;
- средняя масса колоса – **2,04** грамма;
- средняя урожайность зеленой массы зерна – **111,4** ц/га; на воздушно-сухую массу – **27,9** ц/га.

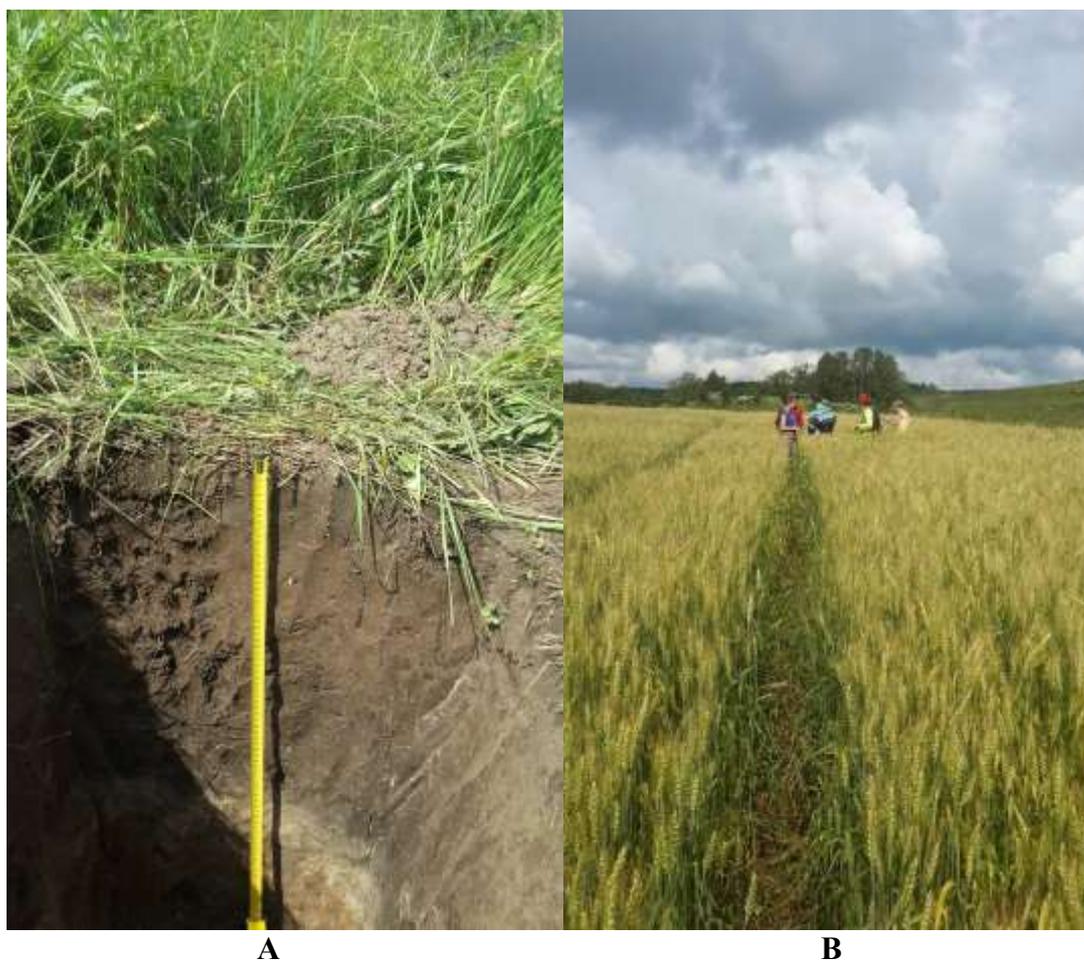


Рис. 34. **А** – почва дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая намытая на покровных суглинках вблизи края поля, где **проводился учет урожайности оз. пшеницы** (в 7 м от берега Михалевского пруда); **В** – студенты 295 группы на учебной практике по курсу «Экология и охрана почв» проводят учет урожайности оз. пшеницы в транс аккумулятивном ЭГЛ (фото И.М. Яшина, 2015).

2. Стационарная площадка № 2 в транс элювиальном ЭГЛ.

- количество растений на 1 м² (среднее из 3-х повторностей) – **525**;
- средняя высота растений – **86,6** см;
- средняя масса колоса – **2,2** грамма;
- средняя урожайность – **26,6** ц/га.

3. Стационарная площадка № 3 в элювиальном (автономном) ЭГЛ.

- количество растений на 1 м² (среднее из 3-х повторностей) – **535**;
- средняя высота растений – **65,3** см;
- средняя масса колоса – **3.4** грамма;
- средняя урожайность зеленой массы – **133,9** ц/га, а на воздушно-сухую массу **33,4** ц/га (за вычетом влаги).

В 1-м варианте из-за избытка влаги и элементов питания растения оз. пшеницы заметно вытянулись (стебель непрочный в сравнении с 3-м

вариантом – на плакоре), колос слабо развитый, культура здесь склонна к полеганию.

В третьем варианте (на плакоре) урожайность выше из-за большей массы колоса (**иной сорт** – низкорослая пшеница и у нее более мощный листовой аппарат) и почва здесь более плодородная – в ней отсутствует подзолистый горизонт, а мощность пахотного слоя достигает **27 см** (см. фото 35).



А

В

Рис. 35. **А** – почва - дерново-слабоподзолистая среднесуглинистая окультуренная на покровных суглинках **на 3-й стационарной площадке**; **В** – учет урожайности оз. пшеницы в элювиальном (автономном) ЭГЛ проводят студенты-экологи 205 гр. РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; у оз. пшеницы здесь хорошо развитая листовая пластинка и крупный колос, а низко рослость придает устойчивость растениям при ветре и сильных дождях (фото И.М. Яшина, июль 2015).

На основании полученных авторами данных по почвам ОАО «Дружба» можно сделать следующие выводы:

1. Химические свойства дерново-подзолистых почв учхоза «Дружба» свидетельствуют об их *ненасыщенности основаниями* и кислой реакции среды. Даже при близком залегании к поверхности CaCO_3 высокая кислотность верхних горизонтов сохраняется (рН 4,3-4,5), очевидно, за счет масштабной мобилизации и водной миграции ВОВ с кислотными свойствами.

2. Лимитирующие экологические факторы в агроландшафтах почв учхоза – плужная подошва, повышенная кислотность, низкое содержание органического вещества, а также использование «чистых паров», активизирующих дегумификацию и смывость пахотных слоев почв.
3. Если при картировании почвоведы выделяют в почвенном покрове учхоза «Дружба» контуры **высокобонитетных серых почв**, то нужно доказать и объяснить почвенно-экологическое происхождение в Ярославской области этого типа почв. *Диагностика серых почв **только по их морфологии некорректна** – это начальный этап изучения почвы, как и любого другого типа. Правильное определение типов почв важно для кадастровой оценки почвенных ресурсов и налогообложения.* Дальнейшее улучшение (сохранения) почвенного плодородия агроландшафтов учхоза неразрывно связано со скорейшим обновлением почвенно-агрохимической документации, постройкой нового хранилища для удобрений и их применением с помощью ГИС технологий (по информации на электронных картах с помощью современной техники) в севооборотах.

8.2. Оценка химического загрязнения почв и экосистемы

Химическое загрязнение почв можно диагностировать по миграционным потокам: биогенному и абиотическому. Рассмотрим этот вопрос.

Абиотическую или водную внутрипрофильную миграцию ВОВ, ионов Fe и тяжелых металлов (ТМ) эффективно изучать с помощью метода сорбционных лизиметров (МСЛ). При этом в сорбентах и в элюентах делают холостое определение химических элементов и $C_{орг}$. Колонками служат жесткие пластмассовые горшочки (по типу цветочных). В них располагают следующие сорбенты: активированный уголь, размер частиц 0,25–0,1 мм, оксид алюминия для хроматографии, ионообменные синтетические смолы (катионит КУ-2 в H^+ форме и анионит - монофункциональный АВ-17 и ОН⁻ форме). Жесткие колонки из инертных материалов закладывали под генетические горизонты почв в 2–4-кратной повторности на определенный период времени.

Для оценки эко-геохимической ситуации и запасов снега используют методы оперативного мониторинга. Перед аналитическим определением химических элементов в лесных подстилках, растительном опаде, мхах и лишайниках их пробы предварительно озоляют сначала до черной, а затем до белой золы в муфеле; золу растворяют в аликвотах концентрированной HNO_3 . Результаты опытов пересчитывают на воздушно-сухую массу субстратов. $C_{орг}$ и групповой состав гумуса почв определяют по методу Тюрина; pH солевой вытяжки устанавливают ионометрически.

В качестве фоновых участков, при расчете коэффициентов загрязнения, нами были выбраны и изучены лесные фации с подзолами иллювиально-железистыми песчаными на *острове Большой Соловецкий*.

Рассмотрим предложенную нами методологию оценки химического загрязнения почв и экосистемы, но сначала несколько слов об источниках химического загрязнения почв и экосистем.

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 показатель суммарного загрязнения $J_{\text{зп}}$:

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

$J_{\text{зп}}$ – 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: $k_n = m_{\text{ТМ в загр. почве}} / m_{\text{ТМ в фоновой почве}}$, иначе этот коэффициент называется коэффициентом технофильности по Глазовской М.А.

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

Выражение (1) является частным, поскольку при оценке загрязнения учитывается только один компонент экосистемы – почва, а некоторые потоки мигрантов в фациях оказываются не учтенными. На это обстоятельство было указано в работе. 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 (2), которое отражает количество ионов ТМ в основных компонентах экосистемы: почве, биоте, аэральные выпадения (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:

$$J_{\Sigma} = \Sigma k_{\text{зб}} + (1 + (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{зп}} + (1 + (n/n-1)) + \Sigma k_{\text{зс}} + (1 + (n/n-1)) - \Sigma_{\text{Ммиг}} + (1 + (n/n-1)) \quad (2),$$

где J_{Σ} – 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 биогенной продуктивности экосистем,

$\Sigma k_{\text{зп}} + (1 + (n/n-1))$ - 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 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.

Теперь рассмотрим предложенные нами новые соотношения указанных коэффициентов. Они весьма актуальны для почвенно-геохимической оценки функционирования экосистем, в частности, в мегаполисах. **Первый интегральный коэффициент удержания** k_{yb} отражает соотношение коэффициента загрязнения биоты и коэффициента миграции изучаемого химического элемента (или элементов) – $k_{yb} = k_{zb} / k_{миг}$. Данный параметр позволяет определить величину удержания мигранта (загрязнителя) биотой. **Второй коэффициент** отражает соотношение коэффициента загрязнения биоты и коэффициента загрязнения почвы (не только верхнего горизонта) – $k_{незб} = k_{zb} / k_{зп}$. Эта величина позволяет уточнить долю мобильных и миграционно способных загрязнителей, не вовлекаемых в биогенный поток миграции. **Третий коэффициент удержания** химического загрязнителя почвой отражает соотношение коэффициента миграции загрязнителя и коэффициента загрязнения почвы $k_{уп} = k_{миг} / k_{зп}$. Данный коэффициент поможет узнать долю мигранта, вовлекаемую в водный поток миграции в почве, и его сезонное поступление в грунтовые воды и верховодку.

Наряду с водной миграцией веществ в насыщенных влагой подзолах важную роль⁵ играет диффузия. Этот процесс протекает круглый год в почвах и, в отличие от сорбции, приводит к рассеиванию ионов, молекул, радикалов из микрозон 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 нативным экосистемам.

Важно знать и 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

⁵ Особенно в почвах, испытывающих устойчивое или временное сезонное переувлажнение. Данные о водной миграции веществ следует дополнять информацией об их диффузии.

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 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 (табл.5). Отмечена прогрессирующая аккумуляция Pb в фациях ЛОД. При этом в подзолах лесопарка Петрозаводска ТМ накапливаются в мощной оторфованной лесной подстилке, по западинам и на вырубках. В 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. Здесь и происходит сорбция ТМ, дальнейшая их трансформация и миграция при активном участии продуктов почвообразования – ВОВ и соединения Fe. Вторая – трофические мигранты.

Таблица 5

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.

В первом случае техногенные продукты, сорбируясь гумусом, коллоидами и вторичными минералами генетических горизонтов почв, изменяют их кислотно-основные и иные параметры. Эти изменения в основном вызывают элементы с высокими Кларками и слаботоксичные – Fe, Mn, Ca, Mg, Na, NH_4^+ и анионы кислот. Во втором случае на почву действуют

высокотоксичные элементы (и вещества): Be, Hg, As, Cd, Se, ..., диоксины, микотоксины, опасность влияния которых реализуется не столько в изменении свойств почв, сколько в их влиянии на биохимические процессы в живых организмах.

По эффекту воздействия на почвы и экосистемы токсичные химические элементы, содержащиеся в техногенных продуктах, могут быть дифференцированы на две группы: первая – биогеохимически активные соединения. Вторая - по их биогенной миграции и аккумуляции в трофических (пищевых цепях). Попадая в трофические цепи, они вызывают негативные изменения в биохимических реакциях.

Таблица 6

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 глубина закладки колонок, см	Сорг ВОВ, г/м ²				% ионов Fe ³⁺ , прочно связанных с ВОВ	Масштаб нисходящей миграции Fe-ВОВ, мг/м ²
	Общий масштаб водной миграции (уголь и Al ₂ O ₃)	в водо-ацетоново м элюате с угля	в аммиачном элюате с угля	по сорбции Al ₂ O ₃		
A ₀ - 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 _n - 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 настоящее время содержание токсичных химических элементов в ландшафтах в настоящее время нормируется путём сравнения трёх 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. - концентрация – это 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

* 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.

Таблица 7

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

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
3	0,0029	0,0092	0,059	0,008
Среднее $x \pm \sigma$	$2,7 \cdot 10^{-3} \pm 7,6 \cdot 10^{-4}$	$8,6 \cdot 10^{-3} \pm 4,5 \cdot 10^{-3}$	$0,045 \pm 0,01$	$7,0 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-3}$

Таблица 8

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 $x \pm \sigma$	$0,021 \pm 6,8 \cdot 10^{-3}$	$0,504 \pm 0,012$	$7,04 \pm 6,15$	$1,56 \pm 0,58$

Результаты диагностики загрязнения снегового покрова ЛОД приведены в табл.7,8 (в этой работе участвовала докторант А.Б. Сердюкова).

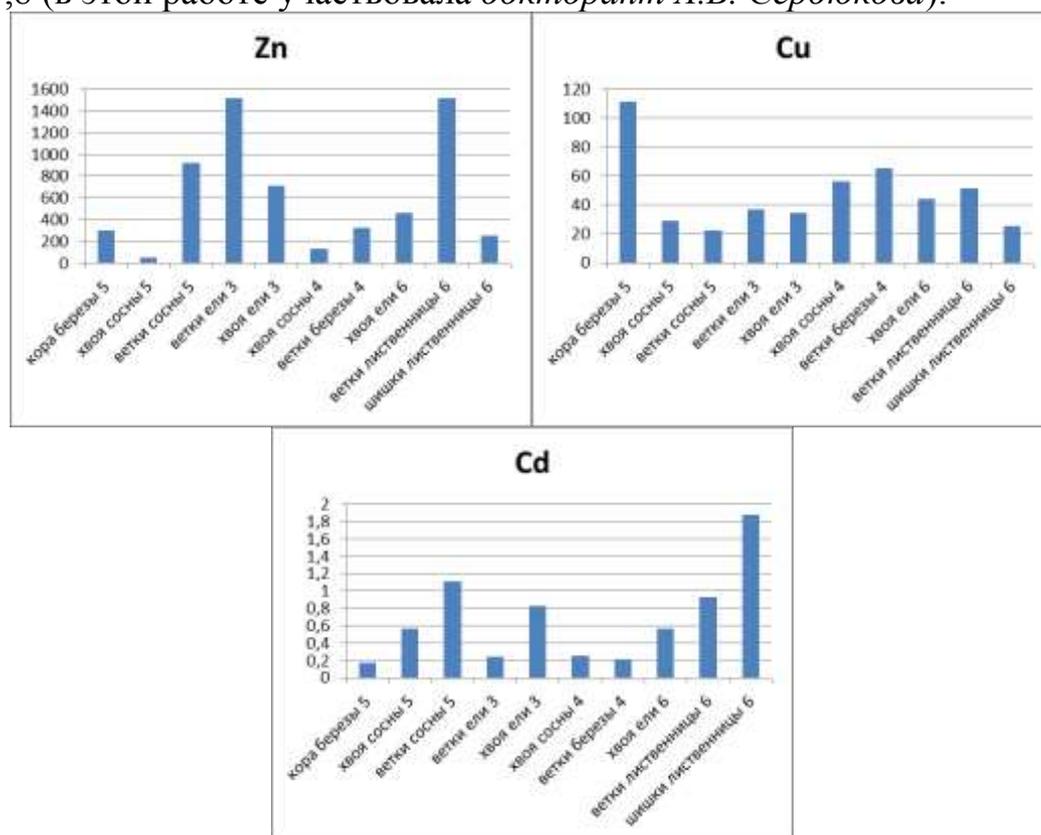


Рис. 36. Содержание ионов тяжелых металлов (мг/л) в водных вытяжках из вегетативных органов растений. Отбор проб в конце марта 2011 года.

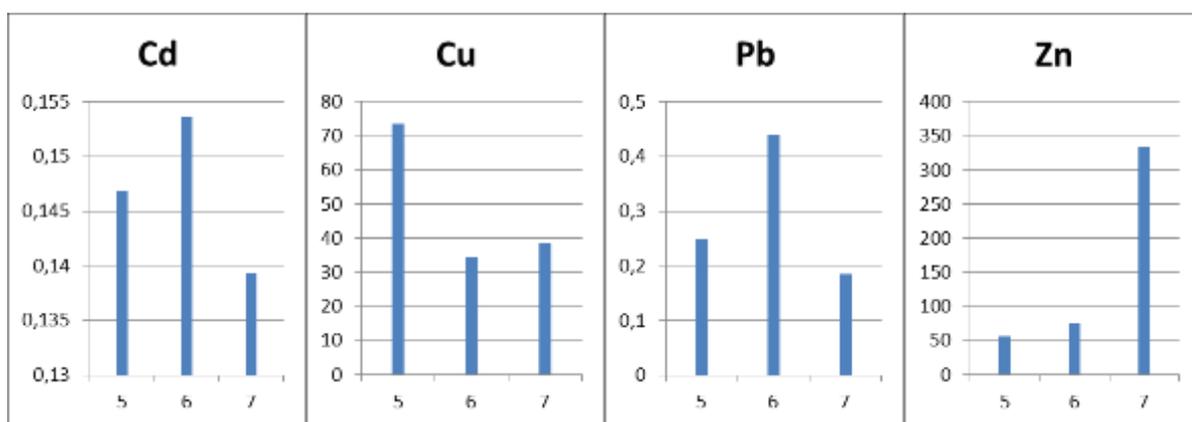


Рис. 37. Содержание ионов тяжелых металлов в снеговой воде после фильтрации через беззольный бумажный фильтр (стационарные участки 5, 6, 7 - вблизи автострады).

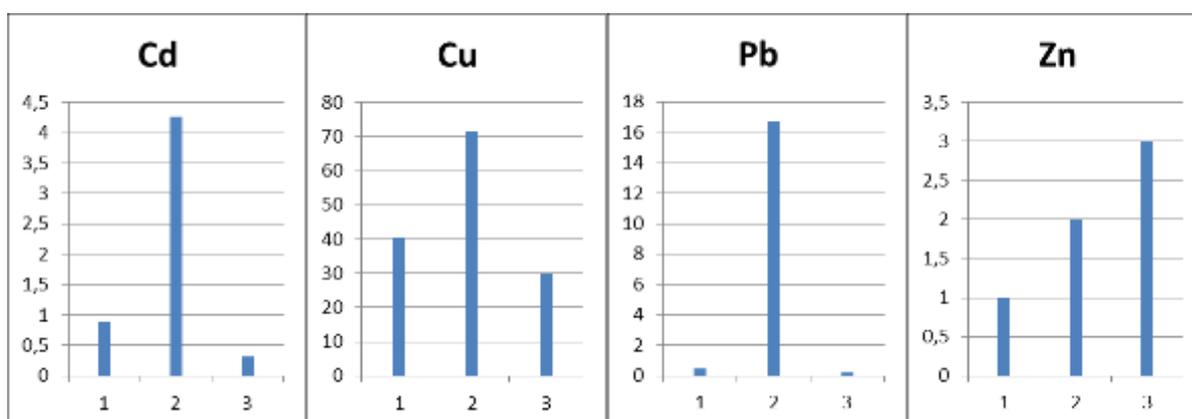


Рис. 38. Содержание ионов тяжелых металлов в снеговой воде после фильтрации через беззольный бумажный фильтр (стационарные участки 1, 2, 3 - в глубине ЛОД, низина).

Табл. 9. 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

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.

Таблица 10

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 (западина в средней части склона).				
А₀^{тн} - 7	8,7 ±3,4	8,6 ±2,0	260,5±63,8	322,4 ±91,3
Е_{hg} - 12	7,4 ±1,6	14,4±3,8	142,5±71,5	183,8±75,2
В_{hg} – 36	2,1 ±0,7	3,8±1,7	74,2±29,1	121,8±59,3
В_{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 , опушка леса - нижняя 1/3 склона				
А₀^{тн} - 5	10,8±2,7	11,6±2,7	327,5±131,8	614,9±204,3
Е_{hg}14(транс.)¹	3,9±0,8	9,4±2,9	397,4±98,4	422,3±143,8
В_{hg}40(транс.)	0,4±0,0	5,7±1,7	84,6±29,5	130,7±58,4

(61,9% от общего масштаба миграции), достигая 34,4 мг/м² за 1 год из слоя 0-12 см.

Ионы Cd²⁺ 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. 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 внутрпочвенного перераспределения химических элементов изучены пока еще в общем виде и нуждаются в дальнейшем обосновании применительно к конкретным экосистемам и ландшафтам.

Рассмотрим сведения о снеговой съемке, они позволяют уточнить загрязнение атмосферы.

Установлено, что содержание Cu 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. В 2011 году загрязнение снегового покрова ЛОД изучали вблизи автострады и бензоаправки (точки 1, 5-7) и в глубине лесопарка ЛОД (точки 2, 3; см. рис. 17, стр. 72; также табл. 7-9).

Содержание водорастворимых форм, например, ионов Cd²⁺ возросло в сравнении с 2008 годом в 56,7 раза; Cu²⁺ – более чем в 10⁴ раз; Zn²⁺ - в 7555 раз; и Pb²⁺ – в 50 раз. **Выявлено очаговое**, пока не сплошное химическое загрязнение фаций и почв ЛОД. Подобные флуктуации обусловлены составом древостоя, рельефом территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и масштабом возросшего антропогенеза.

В водных вытяжках из растительного опада и вегетативных органов растений обнаружено очень высокое содержание ТМ. Это связано с накоплением ими частиц пыли, сажки и золы, а летом и пыльцы растений.

Оцениваемые с помощью МСЛ масштабы миграции химических соединений *не являются необратимо утраченными для почвы* и экосистемы в целом (табл.10). В сезонных циклах, при изменении биоклиматической обстановки, происходят внутривертикальные фазовые переходы воды, ВОВ и ионов металлов, изменяется направленность миграции, что компенсирует ранее отмеченные «миграционные потери». В фациях таежного лесопарка Петрозаводска, например, активно мигрируют комплексные органоминеральные соединения ТМ как с положительным, так и с отрицательным знаком заряда (И.М. Яшин, 2013).

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/м^2 , то в почву после таяния снега поступит следующее количество водорастворимых форм ТМ (мг/м^2): 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 Pb^{2+} ($34,4 \text{ мг/м}^2$) с 140 мг/м^2 , получим долю загрязнителя - ионов Pb^{2+} (24,6%), которая не сорбируясь, мигрирует в супесчаном дерново-подзоле ЛОД. В слое 0,2 м на $S=1 \text{ м}^2$ и массе почвы примерно 300 кг/м^2 содержится $26,76 \text{ г/м}^2$ валовой формы Pb. Анализируя предложенное нами выражение (2), отметим, что в настоящее время оно не может быть охарактеризовано в полной мере: недостаточно фактических данных. В то же время рассчитанный $J_{\text{сз}}$ лесопарковой фации ЛОД по двум компонентам – почве и биоте (лесной подстилке) – оказался равным **более 250** единиц. Предлагается шкала загрязнений экосистемы тайги по $J_{\text{сз}}$: 0-50 – не загрязненная; 60-150 – слабозагрязненная; 160-250 – среднезагрязненная; 260-350 – сильнозагрязненная; 360-450 – очень сильнозагрязненная; 460-500 – экологическая катастрофа.

8.3. Аллелопатические функции органических веществ почв и экосистем тайги

Наряду с изучением масштаба миграции ВОВ важно знать их компоненты и их экологические функции, в частности, **ингибиторов и стимуляторов**.

Экологические функции водорастворимых органических веществ изучали и обосновали в таежных ландшафтах Кауричев И.С., 1965; Яшин И.М., 1974, 1993, 2010 и др. Данные функции опосредованы через конкретные физиологически активные соединения, например спирты, фенолы, дубильные вещества (полифенолы) и терпены (моно-, ди- и тритерпены). У вечнозеленых хвойных растений тайги активно запасаются душистые смолоподобные вещества. По мнению ботаников и физиологов (А.С. Рожков, Г.И. Массель: «Смолистые вещества хвойных деревьев ... 1982 г.) вещества смолы помогают эффективно адаптироваться хвойным растениям к экстремальным условиям среды: длительному переохлаждению, обильным

осадкам, дефициту в почвах Са и N, кислой реакции среды, наличию в подстилках плесневых грибов-кислотообразователей. Наряду с этим смолоподобные вещества выполняют очень важные **защитные функции**:

а) с их помощью растения регулируют как потребление, так и расход воды путем транспирации;

б) смолы защищают клетки растений от интенсивного УФ-излучения (опасного для РНК и белков), особенно активного в горах, аридных регионах и тропиках;

в) смолы защищают растения от вредителей, болезней и животных, стремящихся использовать вегетативные органы растений в качестве корма;

г) смолы являются веществам с ярко выраженными аллелопатическими свойствами. Например, открывание и закрытие устьиц контролируется изменением тургора замыкающих клеток, которое тесно коррелирует с варьированием концентрации ионов K^+ . В движении устьиц заметную роль играют также абсцизовая кислота и синий свет. Устьица открываются, когда в замыкающих клетках возрастает тургор, и закрываются, когда он снижается.

Интересные данные приводят П. Рейвн, Р. Эверт, С. Айкхорн (1990) «...когда заяц-беляк сильно обгладывает, например, березу (*Betula papyrifera*), растения образуют новые побеги, в которых содержание смол и фенольных соединений гораздо выше, чем до повреждения...» (стр. 260). Здесь же отмечается: «... сходные данные были получены Д. Родсом из Вашингтонского университета для ив и ольхи». Последний автор, в частности, наблюдал, что при нападении на деревья гусениц шелкопрядов ива и ольха выделяли неизвестные, очевидно, терпеноподобное⁶ летучее вещество, отпугивающее гусениц. Наряду с этим, в листьях и побегах отмечалось повышенное содержание фенольных веществ и таннидов, заметно снижавших их съедобность для фитофагов в течение 36 часов с начала поражения.

Многие терпеноиды обладают **гормональной активностью**. У растений различают 5 основных гормонов (от греч. Normaо – возбуждаю):

- 1) Ауксины,
- 2) Гиббереллины,
- 3) Цитокинины,
- 4) Абсцизовая кислота у лишайников и водорослей,
- 5) Этилен.

Последние два соединения – ингибиторы роста, а первые три – стимуляторы. Наряду с ними у растений (высших и низших – грибы, мхи, папоротники) образуется много различных органических веществ с кислотными свойствами (И.М. Яшин, 1993). Среди них уникальные функции в экосистемах тайги выполняют терпеноиды, рассмотрим их.

⁶ Смолы в растениях формируются в так называемых смоляных ходах – трубчатых межклеточных полостях, выстланных эпителиальными клетками, секретирующими компоненты смолы и заполненные ими.

Экологические функции терпеноидов

Многие из терпеноидов, *по мнению биохимиков*, являются вторичными растительными веществами, а их функции, как отмечает T.W. Goodwin (1978) изучены еще недостаточно полно. Пока неизвестно, например, чем объясняется синтез столь большого количества родственных им и как бы «бесполезных» органических соединений в фациях хвойных пород тайги?

Мы уже отмечали ранее, что многие терпеноиды обладают гормональной активностью: это *цитокинины, гиббереллины, абсцизовая кислота, этилен* и, вероятно, ксантоксины. Моно- и сесквитерпеноидам часто приписывают аллелопатическую роль. Так, W. Luman, W. Reehl, D. Rosenblatt (1982) сообщают, что методом газовой хроматографии в вытяжках из растений шалфея было идентифицировано *6 терпеноидов*: α - и β -пинен, камфен, камфора, цинеол и дипентен. При биотестировании указанных терпеноидов в *отношении роста корней огурца* отмечено, что все они были ингибиторами, а камфора – в наибольшей степени. *Эти же авторы на опытных участках* отбирали пробы воздуха и обнаружили в них терпены – цинеол и камфору. Исследователи предположили, что терпены могут осаждаться с росой на листьях проростков и поглощаться маслами и воском кутикулы. Кроме того, терпены растворяются в жирных кислотах и липидах, находящихся на открытых поверхностях клеточных стенок. С.Н. Muller, W.H. Muller, B.L. Haines (1964) предположили еще один способ их диагностики и аллелопатии: сорбция летучих терпенов – почвами (гумусом и коллоидами), в результате чего с их помощью растения могли воздействовать на чувствительные к ним растения-конкуренты. В дальнейшем эти авторы подтвердили свою гипотезу, установив *особенности поглощения летучих терпеноидов* в зависимости от гранулометрического состава, времени сорбции и влажности почв. Они, в частности, констатировали:

1. Максимальное выделение терпеноидов в воздух происходит в жаркие периоды, и в это время они *максимально сорбируются почвой (вблизи крон деревьев)*;
2. Терпеноиды сохраняются в почвах практически до начала следующего периода вегетации, не разрушаясь;
3. Соприкасаясь с почвой, содержащей терпеноиды, семена и проростки растений поглощают их некоторое количество, растворяя в кутине;
4. Затем терпеноиды поступают в клетки, трансформируются там и при участии фосфолипидов оказывают *ингибирующее воздействие* на биохимические и иные функции растений.

Рассмотрим функции отдельных терпеноидов в растениях.

Стиролы локализуются в клеточных мембранах растений, стабилизируя и контролируя их проницаемость. Цитокинины защищают клетки от увеличения проницаемости и предотвращают потерю стиролов. В то же

время у биохимиков нет полных доказательств, что эндогенные стиролы выполняют какую-то гормональную функцию у высших растений. Смешанные терпеноиды играют также ключевую роль в обмене веществ у растений.

Функции фенольных соединений. Многие фенольные вещества являются антиоксидантами, поэтому они находят широкое применение в пищевой промышленности для стабилизации жиров.

Антиоксидантная активность фенолов объясняется, по крайней мере, двумя обстоятельствами:

1. Эти вещества, например, салициловая кислота, связывают ионы тяжелых металлов в устойчивые металлоорганические комплексы, тем самым лишая последних их каталитического действия;
2. Они являются акцепторами химически активных свободных радикалов (т.е. фенолы гасят свободно-радикальные реакции).

Важное место отводится фенолам в так называемых защитных функциях организма. При механическом повреждении растительных тканей в них наблюдается интенсивное новообразование фенольных компонентов, которые конденсируются в поверхностных слоях. Эти продукты и образуют защитный слой.

Наличие в клетках растений системы «полифенол-полифенолоксидаза» позволяет живому организму неферментативным путем окислять ряд соединений: аминокислоты, аскорбиновую, яблочную и лимонную кислоты, цитохром С и т.д. Эти реакции весьма важные. Например, окисление аминокислоты (триптофана) хиноном приводит к образованию такого стимулятора роста растений, как индолилуксусная кислота.

Изучено участие фенольных соединений в процессах роста растений. В частности, установлено их наиболее интенсивное образование в молодых, энергично растущих тканях (опыты с культурой чая). При этом фенольные соединения сами по себе способны не только стимулировать ростовые процессы, но и на известной стадии развития подавлять их. Такие реакции в полной мере не изучены, хотя есть сведения об их взаимосвязи с ауксиновым обменом. Наиболее очевидная биохимическая функция фенолов – это образование этилена из метионина. Здесь эфир п-кумаровой кислоты играет роль необходимого кофактора. Танины могут выполнять функцию антимикробных веществ, как, например, лютеон в люпине, или выступать в роли фитотоксинов, как орхинол у *Orchia miliraris*.

По мнению Э. Райса (1978) *простые фенолы, бензойная кислота* и их производные являются наиболее распространенными токсинами, синтезируемыми высшими растениями и принимающими участие в аллелопатическом воздействии. *N-оксибензойная кислота и ванилин* – очень распространенные производные бензойной кислоты, с помощью которых реализуются аллелопатические и иные ингибиторные функции растений. Указанные органические вещества обнаружены в почвах (в частности и в

гумусовых соединениях) и пожнивных остатках кукурузы, сорго, пшеницы и овса (М. Телитченко, 1971). В растительных остатках, содержащих *гидролизуемые таннины (полифенолы)* часто обнаруживаются галловая и элагговая кислоты, которые являются мощными ингибиторами нитрификации в почве.

Конденсированные танины заметно уменьшают скорость минерализации водорастворимых органических веществ (ВОВ). Очевидно, поэтому в почвенных растворах почв подзолистого типа (особенно в горизонтах O^{III} и A_1) в значительных количествах были диагностированы как полифенольные соединения, так и фульвокислоты и их комплексные органоминеральные соединения (И.М. Яшин, 1972, 1993; И.С. Кауричев, 1965). *Их важная особенность: они без разрушения мигрируют через барьеры миграции. Гетерополярные соли при миграции разрушаются: катионы поглощаются почвой, а органические кислоты принимают участие в кислотном гидролизе минералов.*

Аллелопатические функции фенолкарбоновых и низкомолекулярных органических кислот (НМОК)

Фенолкарбоновые (ароматические) и НМОК довольно широко распространены в экосистемах тайги. Физиологи растений и биохимики давно обратили внимание на ингибирующее действие масляной, пропионовой, щавелевой и оксибензойной кислот (Э. Райс, 1978). Так, W.D. Guenzi, McCalla T.M. (1966) идентифицировали в почвах и послеуборочных растительных остатках штата Небраска *5 фенолкарбоновых кислот*: п-кумаровую, сиреневую, ванилиновую, феруловую и п-оксибензойную. Все эти органические кислоты подавляли рост проростков пшеницы. С помощью кислотного и щелочного гидролиза, экстракции этиловым эфиром и метода хроматографии эти авторы подсчитали, что в почве после выращивания остается ($г/м^2$): сорго - $9,7 г/м^2$ п-кумаровой кислоты; после кукурузы – $8,2$; пшеницы – $0,9$ и после овса – $2,6$.

Активная биодеградация фитотоксинов (в частности НМОК) в почвах и их локализация вблизи органогенных субстратов нередко является причиной неудачи у ряда исследователей, пытавшихся выделить и количественно определить эту группу токсинов из среднего (а не индивидуального) образца почвы. Здесь весьма эффективно применение метода сорбционных лизиметров, использование которого авторами начато с 1967 года.

Из НМОК малоновая, фумаровая и лимонная кислоты, подавляющие рост, например зооспор, активно мобилизуются *в раствор из опада хвои ели, сосны, листьев дуба... альдегиды уксусной и пропионовой кислот, ацетон, метанол (метиловый спирт CH_3OH) и этанол (C_2H_5OH) устойчиво выделяются также культурными растениями: листьями свеклы, томата, батата, редиса и корнями моркови.*

Механизмы действия ингибиторов могут быть следующие:

1. Угнетение деления и растяжения клеток;

2. Подавление ростовых процессов;
3. Влияние на поглощение ионов питательных веществ;
4. Угнетение фотосинтеза;
5. Подавление дыхания;
6. Влияние на величину устьичной щели (и, как следствие, снижение транспирации);
7. Подавление синтеза белка и нарушение метаболизма цикла ди- и трикарбоновых кислот (цикл Кребса);
8. Подавление синтеза гемоглобина (в частности, Fe-порфириновых колец), необходимых для азотфиксации;
9. Изменение проницаемости мембран;
10. Ингибирование ферментов и другие.

Феруловая кислота [цит. Э. Райс, 1978] подавляет включение радиоактивного изотопа углерода ^{14}C в аминокислоты, белок и низкомолекулярные органические кислоты, а включение радиоактивной метки в липиды - повышает.

Водный раствор танина сильно подавляет активность **фермента целлюлазы**. Танин замедляет разложение также гемицеллюлозы и целлюлозы микроорганизмами. Это в определенной мере объясняет накопление в таежных (лесных) фациях грубогумусной лесной подстилки (Яшин И.М., 1974, 1993, 2010). Действие аллелопатически активных веществ почвенных растворов на трансформацию растительного опада и миграцию органических лигандов *очень актуально с экологической точки зрения*. При аллелопатических взаимодействиях, кроме токсинов, ингибиторов и ферментов, немалую роль играют низкомолекулярные алифатические органические кислоты. Их значение обусловлено, например, тем, что токсичность многих вторичных метаболитов для грибов зависит от величины рН.

Органические кислоты участвуют в формировании так называемой «**экологической кислотности**» (И.М. Яшин, И.С. Кауричев, Черников В.А., 1996), отражающей специфику (и динамику) функционирования таежной экосистемы. При определенных значениях рН токсичность метаболитов грибов (например, антибиотиков) может быть понижена. Еще один способ защиты растений – инактивация токсинов грибов с помощью веществ, находящихся в корневых выделениях (В.Н. Иванов, 1973). В результате формируются новые продукты детоксикации, безопасные для растений.

В этой связи интересно было оценить масштабы миграции компонентов ВОВ с кислотными, комплексобразующими свойствами и выявить их роль в трансформации барьеров миграции (иллювиально-железистого горизонта), например, на вырубках, *в таежных лесопарковых ландшафтах* такого крупного города как Петрозаводск. К данному вопросу мы и переходим.

8.4. Экогеохимическая оценка лесопарковых фаций⁷ (на примере г. Петрозаводска, Карелия)

Почвы и ландшафты Республики Карелия изучены довольно полно (А.И. Марченко, 1965; Р.М. Морозова, 1978 и др). Особенно активно эти изыскания проводились в 60 – 70-е годы прошлого столетия. В них участвовали сотрудники Карельского научного центра АН, Петрозаводского университета, Тимирязевской сельскохозяйственной академии (1966-1974), Почвенного института имени В.В. Докучаева, Санкт-Петербургского университета и других учреждений. Были охарактеризованы фракционно-групповой состав гумуса, водный, тепловой, окислительно-восстановительный и пищевой режимы, промерзание и оттаивание почв, исследованы процессы глее – и подзолообразования, проведено крупномасштабное картирование почв аграрных и иных ландшафтов, осуществлены мониторинговые наблюдения в заповедниках «Кивач» и «Кижис», дана геохимическая оценка содержания микроэлементов. В то же время недостаточное внимание уделялось эко-геохимической оценке лесных и лесопарковых фаций, их экологическому нормированию,

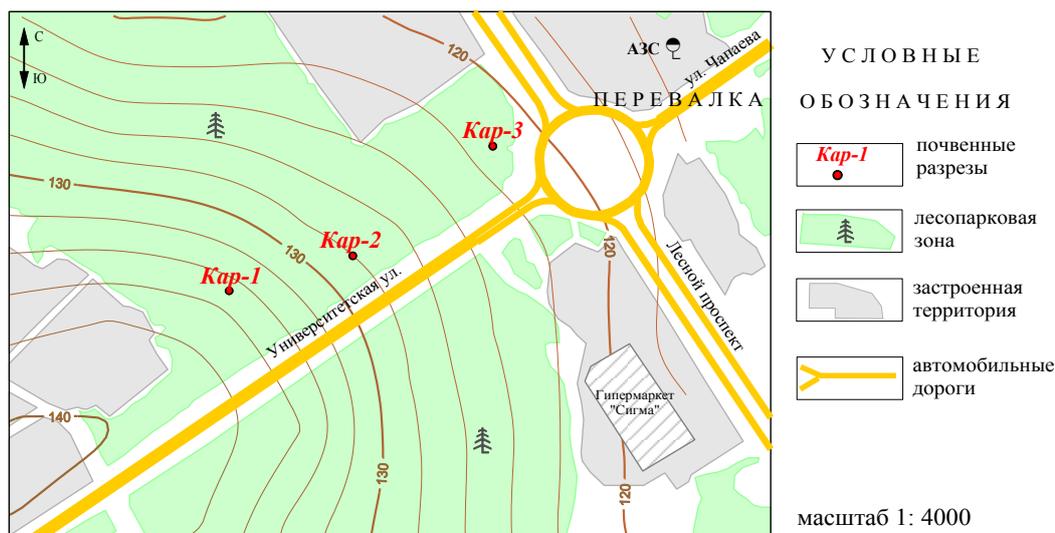


Рис. 39. Карта-схема катены лесопарка Петрозаводска; ключевые участки фаций и места установки в профиле почв сорбционных лизиметров обозначены значками Кар-1, Кар-2 и Кар-3. Масштаб карты-схемы М 1: 4 000; абс. отметка плагора 141 м над у.м. (составлена асп. П.В. Кузнецовым, 2009).

устойчивости, самоочищению, а также функционированию почвенных барьеров миграции и специфике их трансформации.

Объектом исследования служили почвы и фации лесопарковой катены Петрозаводска, карта-схема которой представлена на рис. 39. Географически ключевые участки приурочены к подзоне средней тайги с типичным мореным рельефом. Почвенно-геохимическая катена заложена нами на С-З склоне увала Петрозаводска, вблизи ул. Университетская и крупной развязки

⁷ В исследованиях по разделу 8.4 участвовал аспирант кафедры экологии П.В. Кузнецов (2008-2010 гг.).

автодорог, чтобы определить интенсивность и характер антропогенного влияния на фации лесопарка. Почвообразующие породы представлены завалуненными двучленными отложениями - крупнозернистыми песками, подстилаемыми в пределах метра бескарбонатными и каменистыми тяжёлыми суглинками. Мониторинговые изыскания почв, ландшафтов и оценка эко-геохимической ситуации проводятся здесь одним из авторов с 2002 г. по научной программе РФФИ. В 1966-1972 гг. в почвах заповедника «Кивач» изучалась⁸ миграция VOB , Fe - и Al - органических соединений. Последние учитывались при оценке кислотности почв. В 2002-2006 и 2008-2013 гг. в исследовании состояния и устойчивости фаций участвовали студенты-дипломники и аспиранты РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Рассмотрим кратко состояние лесопарковых фаций. Изучаемый лесопарковый ландшафт Петрозаводска представлен различными фациями: ельником мертвopoкpoвным на подзолах иллювиально-железистых песчаных приуроченным к плакору (Кар-1 – условно *фоно́вый участок* – здесь рубки отсутствуют, кострищ, мусора и муравейников не отмечено); ельником-черничником-сфагновым, в редколесье, на подзолах контактно-глееватых трансформированных – микрозападина на склоне увала (Кар-2; здесь отмечены очень крупные муравейники, остатки кострищ, много тропинок); ельником разнотравно-чернично-зеленомошным, в редколесье, на подзолах контактно-глееватых трансформированных - нижняя треть склона увала (Кар-3). Для сравнения и оценки степени загрязнения ионами ТМ нами были отобраны образцы почв, мхов и лишайников с других фоновых ключевых участков, заметно удалённых от Петрозаводска - на острове «Кижы» в Онежском озере, в заповеднике «Кивач» и на острове Большой Соловецкий в Белом море. Особенности трансформации веществ почвенных барьеров миграции в лесопарковой катене Петрозаводска были охарактеризованы на основе сравнительного изучения их морфологии, химического состава почв и водной миграции продуктов почвообразования. Ниже приведены особенности ключевых участков лесопарковой катены, где в разные годы были установлены сорбционные лизиметры.

«Ключ» Кар-1. Микрорельеф бугристо-западинный. Напочвенный покров представлен куртинками черники. Морфология подзола типична для таких почв с ненарушенным сложением. С глубины 43-58 см появляются завалуненные тяжёлые суглинки, являющиеся водоупором. Здесь скорость фильтрации воды в 2,8- 5,6 раза меньше, чем у микропрофиля подзола [6].

«Ключ» Кар-2. Редколесье и микрозападина на вырубке площадью 52 м². Растительный покров: черника (*Vaccinium myrtillus*) по периферии

⁸ С мая по октябрь 1967 г. **И.М. Яшин** проходил практику после 3-го курса обучения в ТСХА в составе экспедиции, руководимой снс Почвенного ин-та имени В.В. Докучаева Рудневой Е.Н., в заповеднике «Кивач». Нами, в частности, были установлены плоские **лизиметры Шиловой** в почвах, развитых на ленточных глинах (правый берег р. Суны). При откачке вод с помощью насоса Камовского из приёмных бутылей лизиметров в августе наблюдался выброс этих вод, насыщенных углекислым газом – продуктом трансформации VOB . Данный факт указывал на биodeгpaдaцию VOB . Сохранить компоненты VOB от деградации можно было путём их сорбции на чистых сорбентах лизиметрических колонок. Но такие сорбенты нужно было ещё подобрать и проверить их эффективность.

понижения, зеленые и сфагновые мхи (*Sphagnum*). Эпифитных и других видов лишайников (напочвенных, накипных) не отмечено. Редко остатки кострищ, очень крупные муравейники. Лесная подстилка состоит из трёх слоёв: A_0 0–2 см - очес из живых зеленых и сфагновых мхов; A_0^T 2–6 см - торфяной слой лесной подстилки, A_0^{TM} 6–9 см – торфяно-перегнойный, тёмно-бурый, мажущийся; E_h 9–35 см – подзолистый горизонт влажный, серый, пропитан ВОВ, бесструктурный, слабо уплотнён; B_{ftr} 35–39 см - трансформированный иллювиально-железистый горизонт: буроватый с сизыми пятнами, сырой, супесчаный (заилён); EI'_{gtr} 39–50 см - контактно-глееватый трансформированный горизонт - белесо-сизый, сырой, средний суглинок, крупно плитчатый, очень сильно уплотнённый, мелкие Fe-Mn конкреции (до 2 мм в диаметре), переход заметный по цвету. От 10% раствора HCL не вскипает по профилю.

«Ключ» Кар-3. Наземный покров представлен черникой (*Vaccinium myrtillus*) и сфагновыми мхами (*Sphagnum*), образующими оторфованную подстилку. Среди лесных трав в 2002 г. отмечены майник двулистный, вейник лесной. К 2008 г. лесные травы почти вытеснены зелёными и сфагновыми мхами, которые стали доминантами. Горизонты B_{ftr} и EI'_{gtr} в профиле Кар-3 диффузионно размывты: здесь наблюдается «разгрузка» мигрантов - ВОВ и органоминеральных соединений в местный базис эрозии.

Для оценки эко-геохимической ситуации были использованы методы оперативного мониторинга. Перед лабораторным определением химических элементов в лесных подстилках, мхах и лишайниках их пробы предварительно озолялись. Полученные результаты пересчитывали на воздушно-сухую массу субстратов. Оксиды SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 определяли методом рентгено-флуоресцентного анализа, $C_{орг}$ и групповой состав гумуса почв - по методу Тюрина, микроэлементы и тяжелые металлы (ТМ) – с помощью количественного атомно-эмиссионного анализа по аттестованной методике (Институт геохимии СОРАН, г. Иркутск). Содержание суперэкоотоксикантов - кадмия и ртути - методом атомно – абсорбционной спектроскопии. Формы и масштаб водной миграции ионов микроэлементов, ТМ, а также состав и свойства водорастворимых органических веществ (ВОВ) в почвах фаций изучали с помощью метода сорбционных лизиметров - МСЛ. Сорбенты – ионообменные смолы (они наиболее эффективны в песчаных подзолах), оксид алюминия и низкозольный активированный уголь «карболен». В сорбентах и в элюентах делали холостое определение элементов и $C_{орг}$; рН в солевой вытяжке устанавливали ионометрически, гидролитическую кислотность (H_T) - с CH_3COONa , поглощённые основания - кальций и магний - на ААС-3 (пламя ацетилен-воздух); сокращённый гранулометрический состав – методом Качинского.

Ключевые участки перед установкой сорбционных лизиметров картировали в детальном масштабе М 1: 500. В почвенной съёмке в 2002 г. участвовал аспирант Е. В. Мухин. Применяли фотосъёмку почвенных разрезов и биоты цифровыми фотокамерами Lumix Panasonic DMC-FZ10, Nikon

Coolpix P90. Собран архив из 484 фото. Морфологическое описание почв в полевых условиях проводили на диктофон (это удобно в дождливые дни), а на базе запись переписывали в полевой дневник. Мазки почв заклеивали в полевом дневнике скотчем: частицы почв при этом не осыпаются.

Полевые исследования лесопарковых фаций и почв в катене показали, что за период 2002-2009 гг. по микрозападинам и ветровалам отмечено резкое сокращение эвапотранспирации, что привело к изменению гидрологического режима почв, сформированных на двучленах, активизации гидроморфизма и оглеению профилей. Водоудерживающая и водорегулирующая функции почв были нарушены. Здесь отмечено доминирование олиготрофной растительности и очаговое заболачивание; при этом наблюдается поэтапная трансформация подзолов на двучленах с образованием болотно-подзолистых почв

Нарушение водного баланса и гидрологического режима сопровождается заметным изменением морфологии и химических свойств подзолов вследствие активизации глеевого процесса и последующих трансформации веществ - $[(\text{Fe}(\text{OH})_3)]$ - горизонта **B_г**, формирования, в частности, Fe-органических комплексных соединений и их водной миграции. Элювиально-глеевый процесс связан с сорбционно-каталитическими реакциями и комплексообразованием. Важную роль играют анаэробные микроорганизмы – плесневые микроскопические грибы – кислотообразователи: *Mucor*, *Aspergillus niger*, *Penicillium*. Процесс глеевого обезжелезнения иллювиально-железистого горизонта при застойно-промывном режиме диагностируется специалистами как «*оливизация*» [Водяницкий Ю.Н., 2005]. В сухой летний период 2003 и 2008 годов нами была отмечена сильная цементация мелкозёма контактно-глееватого и в меньшей мере иных горизонтов, связанная, по-видимому, с адгезией почвенных минералов оксигидроксидами кремния, железа, алюминия.

В профиле почвы микрозападины отмечены миграционные тяжи голубоватого цвета с охристой каймой из $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – они отчётливо видны на рис. 40 (фация Кар-2). Их полная химическая диагностика и генезис требуют дальнейшего изучения. Неясны также причины, вызывающие постепенное заиливание профиля микро подзола, цементирование мелкозёма в летний засушливый сезон, изменение морфологии и свойств таких почв (табл. 9). Возможно, это обусловлено восходящей миграцией коллоидов Fe, Si, Al под защитой ВОВ из контактно-оглеенного горизонта за счёт градиентов температуры, влажности и концентрации веществ. Химические свойства подзолов катены свидетельствуют об их очень сильнокислой реакции среды (рН колеблется от 3,0 до 4,3, что косвенно указывает на мобилизацию и участие ионов Al^{3+} в обменной кислотности), слабой гумусированности и низкой величины суммы поглощённых щелочноземельных оснований, высокой гидролитической кислотности, в частности, в органогенных субстратах. В составе гумуса почв преобладают фульвосоединения,

гуминовых веществ очень мало, о чём указывает низкое отношение масс $C_{орг}$ гуминовых веществ (ГВ) к $C_{орг}$ фульвокислот (ФК): в пределах 0,2 – 0,7.

Содержание частиц размером менее 0,01 мм указывает на двучленность профилей подзолов. Поверхностное оглеение подзолов в микрозападинах носит биохимический характер, приводит к мобилизации из опада и лесных подстилок значительных масс ВОВ с кислотными свойствами, ионов микроэлементов и ТМ из пылевых частиц и сажи, а поли фенолы с ионами железа и марганца способствуют *меланизации* (почернению) веществ горизонтов A_0^T , E_h при нисходящей водной миграции. В этой связи подзолистый горизонт E_h , прокрашенный Fe-полифенольными комплексами, нередко некорректно определяют как гумусовый горизонт, а почву называют «дерново-подзолистая».

Контактно-осветлённый горизонт в глубине профиля испытывает *полиозацию* (посерение), причём, механизм оглеения здесь в большей мере обусловлен восстановительными свойствами ВОВ и комплексобразованием, а участие биоты незначительное в сравнении с верхними горизонтами. Таким образом, процесс оглеения генетических горизонтов подзолов в микро западинах неоднозначен по направленности и цветовой гамме, отличается различными механизмами трансформации соединений железа, их сегрегации

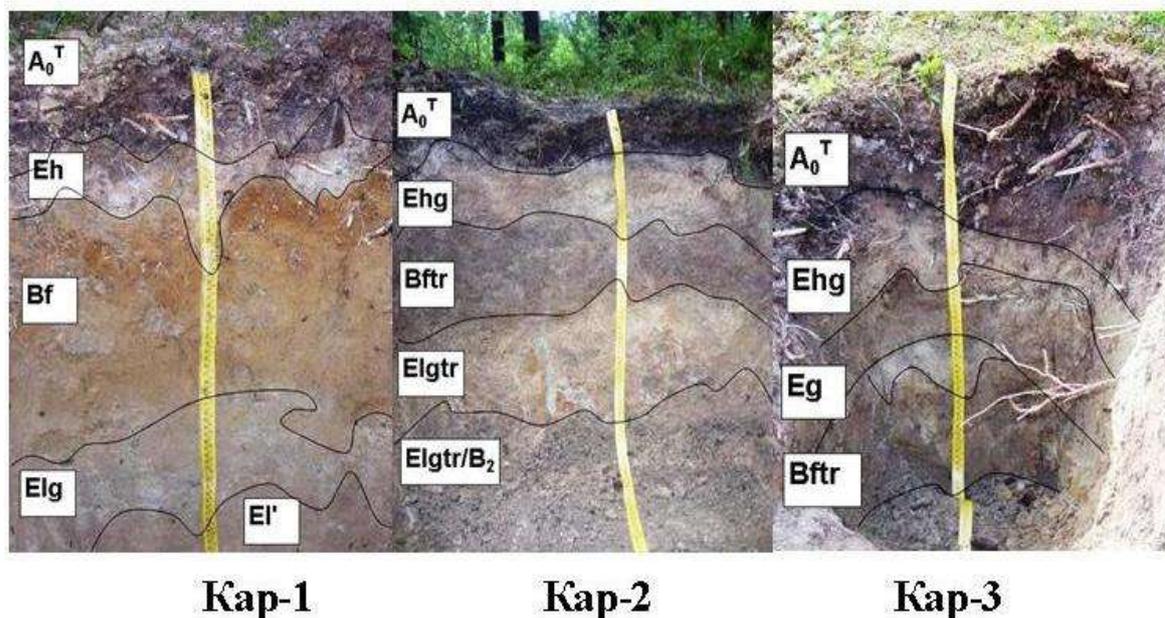


Рис.40. Изменение морфологии подзолов, развитых на двучленах, в катене лесопарковых фаций Петрозаводска (фото И.М. Яшина и П.В. Кузнецова, 2009): разрез Кар-1 – на **платоре**; разрез Кар-2 – в микрозападине на вырубке; Кар-3 – в нижней 1/3 склона увала.

в Fe-Mn конкреции, примазки, а также водной миграции комплексных соединений железа и других ионов металлов с полифенолами и органическими кислотами. Всё это обуславливает разнообразие форм миграции микроэлементов, ТМ, а также **разные токсичность** и доступность

их биоте. Заслуживает внимательной оценки очень высокая кислотность подзолов Карелии. Основную роль в диагностике *обменной кислотности* специалисты отводят химическим реакциям мобилизации ионов AL^{3+} в раствор из образца почвы и их трансформации с участием воды, ионов водорода и водного раствора нейтральной соли (KCL) в лабораторных модельных опытах. На наш взгляд, это положение требует уточнения с позиций экологии. При диагностике кислотности таёжной экосистемы прежде всего следует выделить изучаемые уровни организации веществ. Также нужно объяснить, почему использован такой десорбент, как раствор KCL? Ведь в таёжных экосистемах наблюдается мобилизация ионов AL^{3+} в раствор, но в этом процессе участвуют *не катионы калия*, а ионы водорода, образующиеся при диссоциации функциональных групп органических кислот и фульвокислот; ионы водорода стоят на 1-м месте в ряду катионов-десорбентов. Затем ионы AL^{3+} комплексуется с кислотами, образуя устойчивые комплексные AL-органические соединения, способные к миграции. *Почему же тогда в методике определения обменной кислотности был использован KCL?* Можно предположить, что это связано с неуверенной диагностикой в элюентах ионов AL^{3+} , которые раньше определяли без разрушения AL-органических комплексов: алюминий не обнаруживался в растворах органических кислот. Тогда и перешли к более простым - солевым реагентам - и остановились на KCL. *Ионы алюминия и водорода в почвах*

Таблица 11

Физико-химические свойства подзолов, развитых на двучленах,
в лесопарковой катене Петрозаводска

Генетический горизонт	Глубина отбора образцов, см	C _{орг} по Тюрину, %	pH _{KCL}	Нг	S	Размер фракций, мм, %		Сгк/Сфк
				мг-экв./100 г		< 0,001	< 0,01	
Подзол иллювиально-железистый под ельником мертвопокровным (разрез Кар-1)								
A ₀ ^t	0 - 6	Не опр.	3,2	39,3	15,3	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Eh	9 - 14	0,5	3,6	4,2	5,4	0,6	3,4	0,3
B _{fh}	20 - 30	0,7	3,3	5,3	2,3	1,3	5,3	0,5
EL'g	41 - 46	0,4	4,1	4,1	4,7	4,9	29,7	0,3
EL'g/Bg	53 - 59	0,3	3,9	3,5	4,9	7,3	34,9	0,2
Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником сфагновым (разрез Кар-2)								
A ₀ ^m	3 - 10	Не опр.	3,0	47,4	19,7	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Ehg	10 - 20	0,9	3,3	8,8	6,9	1,4	5,7	0,4
B _{ft}	35 - 39	1,3	3,4	9,3	7,3	2,3	10,4	0,7
EL'gtr	39 - 49	0,8	3,8	5,7	8,4	13,7	34,2	0,4
EL'gtr/B ₂ g	50 - 60	0,7	4,1	4,2	5,8	19,8	38,3	0,3
Подзол контактно-глееватый под ельником разнотравно-зеленомошным (разрез Кар-3)								
A ₀ ^m	2 - 9	Не опр.	3,4	44,1	16,4	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Eh	10 - 20	0,6	3,7	6,4	5,3	1,9	9,5	0,3
Eg	30 - 40	1,1	3,9	4,7	6,8	2,2	14,8	0,3
B _{ft}	44 - 54	1,4	4,1	7,9	5,5	4,8	15,6	0,4
EL'gtr	57 - 67	0,4	4,3	5,6	8,4	21,5	39,4	0,2

*В органогенных горизонтах C_{орг} по методу Тюрина не определяли (здесь будет потеря от прокаливания (ПОП)).

взаимосвязаны: *первый* инициирует появление обменного алюминия, а *трансформация последнего увеличивает концентрацию H_3O^+ в результате гидролиза $Al(OH)_3$* . В экосистемах тайги идёт активное комплексообразование, также способствующее повышению концентрации ионов водорода в растворах подзолов, а часть комплексов продуцируется биотой (табл. 11). Накопленная информация о кислотности отражает почвенный (частный) уровень: он очень важный, но явно недостаточный. Не учитывались эко-геохимические аспекты функционирования экосистем тайги, а также экологические функции биоты, ВОВ и гумусовых веществ. Наряду с этим сильно *преувеличена роль* очень слабой угольной кислоты в трансформации веществ и недооцениваются функции алифатических и иных органических кислот, продуцируемых таёжной биотой для их адаптации к суровым условиям существования. Традиционный подход отражает агрономическую направленность изучения природы кислотности, и приемлем для почв агроландшафтов. Он весьма актуальный, но для диагностики общей кислотности нативных экосистем тайги недостаточный: роль биоты явно недооценивается. Неясно также, почему данный метод рекомендован для всех типов почв, без учёта их генезиса и специфики

Таблица 12

Валовой химический состав подзолов, развитых на двучленных, в фациях ельников лесопарка Петрозаводска, % на воздушно-сухую массу.

Генетический горизонт почвы	Глубина отбора образца, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	C _{орг}
Подзол иллювиально-железистый под ельником мертвопокровным (разрез Кар-1)						
A ₀ ^r	3 – 7	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,20	Не опр.
Eh	9 – 14	77,67	9,72	1,50	0,05	0,8
Bfh	20 – 30	72,34	12,14	3,32	0,09	0,6
El'g	41 – 46	75,61	10,52	2,53	0,05	0,2
Elg'/Bg	53 – 59	71,49	11,41	2,69	0,08	<0,2
Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником сфагновым (разрез Кар-2)						
A ₀ ^{тн}	5 – 10	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,51	Не опр.
Ehg	10 – 20	72,92	11,39	2,96	0,08	0,3
Bftr	35 – 39	74,86	11,40	2,85	0,08	0,1
Elgtr	39 – 49	72,54	11,59	3,24	0,06	0,1
Elgtr/B ₂ g	50 – 60	70,23	12,39	4,12	0,11	0,2
Подзол контактно-глееватый под ельником разнотравно-зеленомошным (разрез Кар-3)						
A ₀ ^{тн}	2-9	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Eh	10-20	66,71	10,31	3,28	0,16	3,4
Eg	30-40	69,15	12,42	4,45	0,07	0,4
Bftr	44-54	71,65	12,32	3,69	0,08	0,3
El'gtr	59-69	67,53	13,63	5,08	0,04	0,1

- Потеря при прокаливании, %

почвообразования в разных географических зонах? На эти аспекты почему-то не обращается внимание.

При оценке общей кислотности экосистем тайги нами предлагается различать антропогенную компоненту («кислотные дожди»), биогенную (экологическую) и почвенную (физико-химическую). Основным источником ионов водорода является функционирующая таёжная биота. В этой связи экологическое нормирование экотоксикантов нужно ориентировать не на людей (как предполагают санитарно-гигиенические нормативы ПДК), а на биоту: сохраним биоту, Биосферу, значит, сохраним и человеческую цивилизацию. Наряду с этим экологическое нормирование загрязнителей должно учитывать и состояние барьеров миграции, где происходит аккумуляция экотоксикантов.

Изменение почвенных барьеров миграции в лесопарке Петрозаводска на морфологическом уровне коррелирует с варьированием валового химического состава породообразующих оксидов в катене. Например, профиль фонового разреза Кар-1 характеризуется типичным для подзолов элювиально-иллювиальным перераспределением оксидов кремния, алюминия и железа. В профиле подзола в микрозападине Кар-2 наблюдается нарушение этого распределения. Здесь максимум содержания SiO_2 отмечен в горизонте $\text{B}_{\text{гтр}}$, а максимумы аккумуляции Al_2O_3 и Fe_2O_3 четко не выражены (табл. 12). В то же время применение результатов валового химического анализа к почвам с *неоднородным сложением* и текстурно-дифференцированным профилем для оценки закономерности перераспределения породообразующих оксидов некорректно. В данном случае можно говорить лишь о тенденции варьирования признаков и свойств таких почв.

Также невозможно оценить опасность химического загрязнения лесопарковых фаций на основе определения только валового химического состава почв. Токсичное действие поллютантов зависит от их форм, степени окисления ионов ТМ с переменной валентностью, их биодоступности, характера закрепления минералами, коллоидами и органическими лигандами. Известно, что среди носителей ионов ТМ и микроэлементов в фациях тайги основную роль играют компоненты ВОВ, а также коллоиды Fe, Mn. Последние аккумулируют ионы ТМ в конкреции и ортштейны при сегрегации. Как и в глееподзолистых почвах музея «Малые Корелы» Архангельской области, в трансформированном подзоле катены Петрозаводска отмечено заметное увеличение (в 2,3 – 4,8 раза) содержание ТМ и органических веществ в Fe-Mn конкрециях за счёт диффузионной сегрегации. В целом подзолы катены бедны микроэлементами, что согласуется с литературными данными, но имеют повышенное содержание SrO. В то же время для большинства из них отмечено *локальное биогенное накопление* в оторфованных лесных подстилках - на сорбционных органогенных барьерах миграции. Нагляднее всего это выражено в почве микро западины разреза Кар-2, где отмечены комплексные барьеры миграции. Здесь основная масса, в частности ионов ТМ первого класса опасности - ртути, кадмия и свинца - сосредоточена в очесе - гор. A_0^{T} (0 – 2

см), табл. 12, 13. Для оценки степени и характера *химического загрязнения лесопарковых фаций* Петрозаводска и вовлечения ионов ТМ – кадмия, свинца и микроэлементов (меди и цинка) - в биогеохимический круговорот было изучено их содержание в золе растений.

Таблица 13

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

Почвенный горизонт (и объекты)	Глубина отбора, см	Химические элементы								
		MnO	CoO	NiO	CuO	ZnO	SrO	CdO	HgO	PbO
Подзол иллювиально-железистый под ельником мертвопокровным (разрез Кар-1)										
A ₀ ^T	3 – 7	190	4,3	12	7,0	12	210	0,21	0,114	13
Eh	9 – 14	220	4,6	11	6,5	16	260	0,05	0,011	13
Bf	20 – 30	310	11	27	9,3	32	260	0,09	0,013	9,7
El'g	41 – 46	280	8,9	20	14	22	290	0,11	<0,002	11
El'g/Bg	53 – 59	330	12	21	17	30	310	0,06	0,004	11
Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником сфагновым (разрез Кар-2)										
A ₀ ^T	0-2	He опр.	He опр.	He опр.	48	88	He опр.	0,43	He опр.	145
A ₀ ^T	2-5	He опр.	He опр.	He опр.	7,4	21	60	0,22	He опр.	9,1
A ₀ ^{III}	5-11	190	10	54	15	12	47	0,11	0,322	27
Eh	20-26	320	11	23	13	30	260	0,08	0,006	9,1
Bf _{tr}	31-37	290	11	23	16	32	270	0,08	0,022	10
El'g	43-53	350	15	32	10	<10	290	0,09	0,004	10
El'gtr/B2g	60-70	440	19	35	32	38	270	0,08	0,013	11
Подзол контактно-глееватый под ельником разнотравно-зеленомошным (разрез Кар-3)										
Eh	10-20	400	10	24	12	28	230	0,16	0,032	15
Elg	30-40	650	20	36	9,3	39	250	0,09	0,016	11
Bf _{tr}	44-55	430	15	28	17	38	240	0,07	0,018	10
El'gtr	59-69	370	17	37	20	25	240	0,1	0,02	12
A₀^T после отмывки в воде	---	He опр.	He опр.	He опр.	21	34	He опр.	0,11	He опр.	58
Зелёные мхи (2004, Кар-2)	—	221	He опр.	4,8	12,2	66	He опр.	0,19	He опр.	9,4
Хвоя ели (2004, Кар-2)	--	223	He опр.	3,7	5,6	26	He опр.	0,12	He опр.	6,2
Разнотравье о. Кижы; Р.2.	—	47	He опр.	5,5	9,0	73	He опр.	0,66	He опр.	0,4
О. Б. Соловецкий, Р. 48я	гор. Е (4-14см)	He опр.	He опр.	0,6	1,1	1,5	He опр.	0,02	He опр.	0,2
ПДК в почве		1500	Нет	85	55	100	нет	0,5	2,1	32

Рассчитаны коэффициенты контрастности k_n почв, коэффициенты биогенного накопления $k_{бн}$ ТМ и индексы суммарного загрязнения лесопарковых фаций. В лесной подстилке, состоящей из трёх слоёв, содержание элементов суммировалось. При расчёте коэффициента технофильности (контрастности) k_n важно правильно выбрать фоновые участки в Карелии. Рекогносцировочные исследования, выполненные нами в 2002-2004 гг., показали, что для этих целей нельзя использовать в качестве

фона почвы о. Кижы (высокоуглеродистые сланцы в почвах на шунгитах являются ёмкими сорбционными барьерами и загрязнены некоторыми ТМ) и заповедника «Кивач» - в очёсе гор. A_0^T было диагностировано высокое содержание **Hg** (в нескольких километрах находится *Кондопожский ЦБК*). Поэтому в качестве фона были выбраны фации и подзолы острова Большой Соловецкий на удалении 7 км к северу от стен Соловецкого Кремля к Секирной горе. Установлено, что коэффициенты контрастности k_n , отражающие соотношение масс мигранта в загрязнённой и фоновой почвах, для фации Кар-1 оказались равными: Cd – 10; Pb – 54; для почв фации Кар-2 – **Cd** - 38; **Pb** – 755. Следовательно, подзолы микрозападин лесопарка загрязняются ТМ *особенно интенсивно*. Использование для этих целей параметра ПДК невозможно: он не учитывает генезис почв, трансформацию барьеров миграции и должен быть усовершенствован с биогеохимических позиций. Оценка загрязнения с помощью коэффициента биогенного накопления $k_{бн}$ показала, что в фоновой (автономной) фации Кар-1 $k_{бн}$ для ртути равен 10,4, свинца - 1,0 и кадмия – 4,2. В то же время $k_{бн}$ для фации **транс-аккумулятивного ЭГЛ** (микрозападины с активным оглеением профиля подзола и образованием коллоидов) были следующие: для ртути – 5,4; кадмия – 9,5 и свинца – 19,9. Таким образом, часть ионов ТМ включается в биогенный круговорот и в более концентрированном виде с опадом возвращается в лесную подстилку.

Установлено, также, что *условно фоновая фация катены* лесопарка Петрозаводска имеет $J_{сз} = 15,6$, то есть не загрязнена этими ТМ (по Саету, 1988). Фация на вырубке, в редколесье (микрозападина), характеризуется $J_{сз} = 34,8$ - слабое очаговое загрязнение. В формуле Ю. Саета использован k_n почвой, а в авторской интерпретации – коэффициент биогенного накопления биотой - $k_{бн}$. *Устойчивое оглеение подзолов и продуцирование в раствор ВОВ с кислотными свойствами усиливают её самоочищающую способность.*

Коэффициенты биогенного накопления $k_{бн}$ у микроэлементов оказались равными для *фоновой фации Кар-1 в 2008 г*: Mn - 0,9 ; Co - 0,9 ; Ni – 1,1 ; Cu - 1,1 ; Zn - 0,8; а для *транс-аккумулятивной Кар-2*: Mn – 0,6 ; Co – 0,9 ; Ni – 2,4 ; Cu - 5,4 ; Zn - 3,7. Следовательно, при оглеении почв активизируются мобилизация и биогенная миграция ионов никеля, меди и цинка. Ионы марганца и кобальта слабо поглощаются мхами подстилки. Поглощение ионов ТМ и микроэлементов древесной растительностью (в частности елями), произрастающими по периферии микрозападин, отличается следующими коэффициентами биогенного накопления $k_{бн}$ в хвое и веточках: Cu – 0,3; Zn – 1,3; Pb – 0,6; Cd – 0,9. Микроэлементы слабо поглощаются биотой (табл. 12). В условиях нормального развития экосистем $k_{бн}$, в частности, для F, Hg варьируют от 0,1 до 1,0. При антропогенном загрязнении фаций ландшафтов $k_{бн}$ возрастают с 1,0 до 30.

Примечательно, что после 5-кратного ополаскивания образца очёса сфагнового мха в дистиллированной воде масса металлов в нём заметно

снизилась. Это указывает на поступление поллютантов в фации лесопарка с *частицами пыли, тумана, аэрозолей и сажи* не только из местных, но дальних источников, возможно, из Финляндии, Норвегии, Швеции, Кондопоги, Санкт-Петербурга и Сегежи. На самом деле, спектр экотоксикантов здесь более разнообразный, чем был нами охарактеризован и заслуживает дальнейшего изучения, в частности, в снеге (табл.14).

Установлена лито-геохимическая взаимосвязь изучаемых элементов с помощью корреляционного анализа в Excel. Исходя из полученных значений коэффициентов корреляции, скомпонованы *три группы металлов*. В первую группу входит *стронций*. Он имеет невысокую корреляционную связь ($K = 0,71-0,95$) с большинством *породообразующих оксидов* кремния, щелочноземельных и щелочных металлов. Накопление стронция у животных и людей вызывает «уровскую болезнь». *Вторая группа металлов* представлена элементами, находящимися в корреляционной зависимости с оксидами алюминия и железа ($K=0,85-0,96$). К ним относятся микроэлементы группы железа – *Mn, Co и Ni*. Оглеение почвы способствуют увеличению их доступности для растений и накоплению в них до токсичных значений, если почва загрязнена ими. *Третья группа элементов* представлена *кадмием, свинцом и ртутью*, образующими тесную корреляционную связь с органическим веществом почвы и с анионами фосфорной кислоты ($K = 0,97-0,99$). Комплексообразование этих химических элементов с ВОВ и фульвокислотами подзолов переводит их в доступные для биоты и способные к водной миграции комплексные соединения. Соединения железа при оглеении подзолов на двучленах мигрируют и в коллоидной форме «под защитой» ВОВ, хотя прямых доказательств этого факта в полевых опытах пока не получено. Но при просасывании в лаборатории вытяжек из сорбентов через керамическую свечу Шамберлена отмечалось достоверное (на 21 – 43%) уменьшение концентрации ионных форм Fe, а на поверхности свечи накапливался бурый мажущийся осадок $Fe(OH)_3$.

Таблица 14

Валовое содержание тяжелых металлов и микроэлементов в растениях ели лесопарка Петрозаводска в 2008 г, мг/кг

Химические элементы	Зола,%	Cu	Zn	Cd	Pb
На воздушно-сухую массу					
Хвоя и веточки ели, растущей по периферии микрозападины*.	1,9	3,6	16,0	0,07	5,0
Тот же опад растений, но после отмывки в воде	1,2	2,1	8,5	0,06	3,0

* **Зольность** оёса составила **0,22%**, мхов – 0,15%, лишайников – 0,31%, хвои ели – **1,7%**. Низкая зольность органогенных субстратов, дефицит азота и обменного кальция в фациях тайги способствуют интенсивному образованию органических кислот.

В почвах лесопарковых фаций Петрозаводска наибольший масштаб радиальной водной миграции ВОВ установлен в подзолах микрозападин - на вырубках – 30, 9 г/м² C_{орг} и в нижней трети склона увала – 27,3 г/м². Железо

мигрирует в подзолах преимущественно в форме *устойчивых органоминеральных соединений*. Максимальный их вынос отмечен из трансформированного горизонта V_f подзолов катены. Установлено, что в зимний сезон, при промерзании почв, наблюдается *восходящий поток мигрантов*, особенно активный у *ионов железа и компонентов ВОВ*.

В фациях лесопарковых подзолов характерен сезонный пульсирующий, но не однонаправленный нисходящий вектор миграции. Использование ионообменных смол в сорбционных лизиметрах позволило установить масштаб миграции комплексов ТМ с разными знаками заряда. Так, среди ионов-мигрантов Zn^{2+} , Pb^{2+} заметно преобладают фракции с отрицательным знаком заряда (табл. 16).

Для железа данная особенность выражена в меньшей мере: заметная масса ионов железа не закомплексована органическими лигандами и имеет положительный заряд (по сорбции катионитом в H^+ форме). Возможно, это связано с ассоциацией ионов железа в коллоидные системы при оглеении и их миграции в профиле под «защитой» ВОВ, обладающих свойствами поверхностно-активных веществ. Данные факты требуют уточнения.

Оксид алюминия (как сорбент) в колонках сильно уплотняется (даже с химически очищенным кварцевым песком), вследствие чего отмечается резкое ухудшения фильтрации растворов в лизиметрах. Также недопустимо закладывать в колонки сухие массы сорбентов и кварцевого песка: такие установки, несмотря на соблюдение всех других методических рекомендаций, не будут функционировать вообще. Защемлённый воздух в колонках будет препятствовать поступлению гравитационных почвенных растворов в сорбционные лизиметры.

На основе фактических данных рассчитаны градиенты барьеров миграции G . Показано, что для ионов Zn^{2+} они равны (mg/m^3 за 1 год): «ключ» Кар-2, гор. $E_h - 320$, $V_{fir} - 46$; «ключ» Кар-3, гор. $E_h - 209$, $V_{fir} -$ минус 17. Для ионов Pb^{2+} «ключ» Кар-2, гор. $E_h - 20$, гор. $V_{fir} - 14$; «ключ» Кар-3, гор. $E_h - 46$, $V_{fir} - 11$. Соотношение масс мигрантов в лизиметрических водах и породах позволяет судить о степени их подвижности в ландшафтах; оно выражается через коэффициенты миграции $k_{миг}$ (табл. 17). По сведениям специалистов Института Леса КНЦ в ландшафтах Карелии наиболее активно мигрируют Zn ($k_{миг} = 306$), Mo ($k_{миг} = 19$), Cu ($k_{миг} = 17$) и Mn .

По мнению Ковалевского В.В. (2009) между шунгитом (табл. 15, разрез 2) и фуллереноподобными наноструктурами имеется определенное сходство. А это позволяет диагностировать шунгит как фуллереноподобный углерод в группе неграфитируемых природных углеродистых веществ. Фуллерены состоят из 60 и более атомов углерода. Шунгиты являются емкими сорбентами в почвах, поглощая и ВОВ, и ионы тяжелых металлов. *Поэтому такие почвы нельзя использовать в качестве фоновых (незагрязненных аналогов), даже на удаленных от промышленных центров стационарах. В*

почвах Карелии активными мигрантами является $S_{орг}$ ВОВ. При трансформации барьеров миграции наблюдается уменьшение $k_{миг}$. Ране

Таблица 15

Масштаб вертикальной нисходящей миграции компонентов ВОВ и соединений железа в подзолах контактно-глееватых на двучленах в лесопарковой катене Петрозаводска, а также в почвах фоновых стационаров Карелии: заповедников острова «Кижы» (Онежское озеро) и «Кивач».

Горизонт и глубина установки сорбционных лизиметров, см	Вынос $S_{орг}$ ВОВ, г/м ² за 1 год			Fe^{3+} , мг/м ² за 1 год	
	в водо-ацетоновом элюате из угля (ИОВ)	в аммонийном элюате из угля (ФС)	по сорбции ВОВ на Al_2O_3	после разрушения ВОВ, 20% H_2O_2	% массы ионов Fe^{3+} , прочно связанных с ВОВ
Контроль 1. Разрез 4п. (Кар-1). Ландшафт автономный (плакор) нетрансформированный - ельник-черничник. Наблюдения: июль 2003 - июль 2004 гг.					
$A_0^T - 3$	5,2 ± 1,5	2,4 ± 0,9	1,3 ± 0,5	449,2 ± 18,2	54,3
$E_h - 14$	4,6 ± 1,3	2,1 ± 0,8	0,9 ± 0,1	316,6 ± 27,4	59,6
$V_f - 36$	0,5 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,1 ± 0,0	38,5 ± 5,7	72,4
Разрез 5п. (Кар-2). Ландшафт транс-элювиальный. Вырубка (западина с олиготрофами; средняя часть склона увала). Наблюдения: июль 2002 - июль 2003 гг.					
$A_0^{тн} - 5$	17,9 ± 3,5	8,3 ± 1,6	4,7 ± 1,5	429,4 ± 44,9	67,2
$E_{hg} - 12$	14,1 ± 3,2	10,9 ± 1,9	2,5 ± 0,7	697,5 ± 72,1	70,4
$V_{fhg} (гp.) - 39$	3,7 ± 1,1	14,4 ± 2,4	0,8 ± 0,3	722,5 ± 95,7	70,8
$V_{fh} (не гp.) - 38$	1,9 ± 0,7	4,9 ± 1,6	0,5 ± 0,1	189,2 ± 17,4	76,3
Разрез 5п (Кар-2). Ландшафт транс-элювиальный. Вырубка (западина с олиготрофами в средней части склона увала). Наблюдения: июль 2003 – июль 2004 гг.					
$A_0^{тн} - 4$	10,5 ± 2,7	5,4 ± 1,8	3,8 ± 1,3	318,4 ± 71,5	52,7
$E_{hg} - 11$	7,9 ± 1,4	2,8 ± 0,7	2,9 ± 0,8	224,2 ± 66,9	58,6
$V_{fhg} - 37$	1,4 ± 0,3	2,6 ± 0,7	0,4 ± 0,0	112,8 ± 43,8	64,3
Разрез 3п. (Кар-3). 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.					
$A_0^{тн} - 5$	14,7 ± 3,1	6,8 ± 1,4	5,8 ± 1,9	543,9 ± 112,2	59,6
$E_{hg} (гp.) - 15$	8,5 ± 1,8	9,6 ± 2,2	4,1 ± 1,3	705,3 ± 23,8	38,4
$V_{fg} (гp.) - 40$	2,3 ± 0,8	3,7 ± 1,1	2,0 ± 0,6	198,2 ± 63,7	29,7
Разрез 18. Контроль 2 - заповедник «Кивач». Ландшафт автономный лесной: «Сопохский бор» - сосняк-беломошник. Почва – подзол иллювиально-гумусово-железистый песчаный на флювиогляциальных бескарбонатных отложениях. Наблюдения: 18.09.1971 – 15.09.1972 гг. (Яшин, 1973).					
$A_0^{тн} - 5$	1,8 ± 0,3	3,3 ± 0,7	не исп.	321,7 ± 24,1	68,1
$E_h - 12$	0,3 ± 0,1	3,2 ± 1,5	не исп.	391,3 ± 17,9	92,4
$V_f - 37$	0,4 ± 0,1	3,7 ± 1,3	не исп.	286,8 ± 18,4	94,3
Разрез 2. Контроль 3 – заповедник «Кижы» 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 ± 5,4	44,7
$A_1 - 10$	0,9 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	66,7 ± 8,2	53,9

было показано, что гидрохимический состав поверхностных вод ландшафтов заповедника «Кивач» отличается заметными концентрациями ВОВ, поступающими из почв. Причём, ВОВ не насыщены ионами металлов, что и

определяет их химическую активность, способность трансформировать коллоиды и почвенные минералы. Появление миграционных АЛ-органических комплексов в почвенных растворах подтверждает высокую кислотность подзолов, на что обращали внимание ещё по результатам лизиметрических опытов в подзолах заповедника «Кивач». Однако методика диагностики кислотности должна носить не только агрономическую, но и экологическую направленности.

Были рассчитаны величины импульса миграции dU для Zn, Pb; они варьировали от 3, 5 до 4,9.

Для этого использовали известное выражение:

$$dU = db/db_x \cdot dt \quad (3)$$

После его интегрирования, получим:

$$dU = \int db/db_{x_0} \int dt = \ln b_2/b_1 \cdot t^{-1} \quad (4)$$

$$\text{Отсюда } U = \ln b_2 - \ln b_1 \cdot t^{-1} \quad (5)$$

В этой связи взаимосвязь масс мигрантов на барьере миграции отражается восходящей экспонентой: $b_2 = b_1 \exp U$ или $b_2 = b_1 \cdot 2,72^U$, что указывает на всё более активное загрязнение. Плотность потока мигрантов U при прохождении барьеров миграции прямо пропорционально их k_{mob} в раствор и обратно пропорциональна валовому содержанию элементов.

Таблица 16

Форма и масштаб миграции соединений Fe, Zn, Pb, а также ВОВ в подзолах катены Петрозаводска; наблюдения 12.07.2003–15.07.2004гг., $\text{мг/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	Сорг ВОВ, г/м ²		Fe-органические соединения		Общий вынос ТМ по сорбции ионитами		Zn ²⁺	Pb ²⁺
	по сорбции КУ-2 (Н ⁺ форма)	по сорбции АВ-17 (ОН ⁻ форма)	по сорбции КУ-2 - в 0,1 н. HNO ₃	по сорбции АВ-17 - в 0,1 н. NaOH	Zn ²⁺	Pb ²⁺	по сорбции анионитом АВ-17 (отрицательно заряженные комплексы)	
Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником сфагновым (разрез Кар-2)								
A ₀ ^{тп} - 7	8,7 ± 1,8	8,6 ± 2,0	260 ± 64	322 ± 91	35	5	27	4
E _h - 12	7,4 ± 1,6	14,4 ± 3,8	143 ± 72	184 ± 75	19	4	13	2
V _{фтр} - 36	2,1 ± 0,7	2,1 ± 0,7	74 ± 29	122 ± 59	8	0,6	6	0,4
Восходящая из гор. V_{фтр}	6,6 ± 1,5	8,1 ± 2,2	305 ± 95	395 ± 124	13	2	7	1,5
Подзол контактно-глееватый под ельником разнотравно-зеленомошным (разрез Кар-3)								
A ₀ ^{тп} - 5	10,8 ± 2,7	11,6 ± 2,7	327 ± 132	615 ± 204	44	8	34	6
E _{hg} - 16	3,9 ± 0,8	9,4 ± 2,9	397 ± 92	422 ± 144	21	3	14	2
V _{фтр} - 40	0,4 ± 0,0	5,7 ± 1,7	85 ± 30	131 ± 58	25	0,4	17	0,1

Рассчитаны также абсолютные величины аккумуляции Zn, Pb на некоторых барьерах по формуле: $h = k_{\text{mob}} (m_1 - m_2)/a_1 - a_2$.

Величины a_1 и a_2 выражали в %, а массы мигрантов мг/м^2 . Для Кар-2 гор. E_h и V_{ftr} значения h оказались соответственно равны (мг/м^2): для Zn – 140, Pb – 5,3; для Zn – 7,2, Pb – 0,26 (табл. 15). В гор. V_{ftr} коллоиды Fe, Mn сорбируют ионы ТМ, уменьшая их радиальную миграцию.

На основании полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. С помощью современных методов изучено эко-геохимическое состояние лесопарковых фаций Петрозаводска, их загрязнение ионами ТМ и сравнительная трансформация почвенных барьеров миграции в катене. Экспериментальные данные будут использованы вместо абстрактного ПДК при разработке параметров экологического нормирования загрязнения лесопарковых ландшафтов с учётом K_n , $K_{\text{бн}}$, $J_{\text{сз}}$, а также $k_{\text{миг}}$.
2. Установлено, что на вырубках резко уменьшается эвапотранспирация и активизируется аккумуляция в почве избытка влаги. При этом оглеение способствует интенсивному продуцированию ВОВ с кислотными свойствами из лесной оторфованной подстилки, которые и обуславливают мобилизацию из пыли, сажки, а также из почвенных минералов и коллоидов различных ионов ТМ и микроэлементов.

Таблица 17

Коэффициенты миграции $k_{\text{миг}}$ некоторых химических элементов в горизонтах подзолов, развитых на двучленах, в фациях лесопарка Петрозаводска

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	Сухой остаток, г/л	$C_{\text{орг ВОВ}}$	Fe	Pb	Zn	Cu	Cd
Подзол иллювиально-железистый под ельником мертвопокровным (Кар-1)							
A_0^T 3	0,12	322	6,7	4166	287	637	2292
V_f 36	0,08	215	5,0	1250	129	588	1875
Подзол контактно-глееватый под ельником-черничником сфагновым (Кар-2)							
A_0^{III} 7	0,17	793	5,9	968	3125	519	4118
V_{ftr} 36	0,23	278	6,4	87	544	307	98
Подзол контактно-глееватый под ельником разнотравно-зеленомошным (Кар-3)							
A_0^{III} 5	0,29	370	3,7	448	216	219	3218
V_{ftr} 40	0,34	124	2,0	32	101	363	342

3. Аккумуляция ионов тяжелых металлов в лесопарковых фациях Петрозаводска происходит на органогенных и биогенных сорбционных барьерах миграции локально. Выявлен атмосферный вектор поступления химических элементов в почвы и лесопарковые ландшафты. Происходит очаговое загрязнение ТМ (Hg, Cd, Pb) фаций и почв лесопарка и заповедника «Кивач», но степень их загрязнения пока низкая.

4. Трансформация нативных иллювиально-железистых горизонтов V_f сопровождается перераспределением в профилях подзолов химических

элементов по сравнению с ненарушенными аналогами плакоров. Интерпретация результатов валового анализа применительно к почвам с *неоднородным сложением* профиля (на двучленах) затруднительна. Можно говорить лишь о тенденции варьирования признаков и свойств подобных почв.

5. Установлена геохимическая связь ионов суперэкоотоксикантов *Pb, Hg и Cd* с органическим веществом почвы (и ВОВ), что было подтверждено данными корреляционного анализа. Ионы ТМ загрязняют фации лесопарка и могут вызвать также локальное загрязнение грунтовых вод, ягод и грибов: необходим их мониторинг.

6. С помощью метода сорбционных лизиметров установлена динамика масштаба миграции ВОВ и формы миграции соединений ТМ и Fe с разными знаками зарядов в подзолах лесопарка. Элементы с высокими Кларками являются слабыми мигрантами.

7. Охарактеризованы *градиенты барьеров, импульс миграции и коэффициенты интенсивности водной миграции $k_{\text{миг}}$* некоторых химических элементов в лесопарковом ландшафте Петрозаводска. Наиболее активно мигрируют $C_{\text{орг}}$, Cd, Pb, Cu. Высокую миграционную способность ТМ обеспечивают ВОВ и комплексообразование. ТМ мигрируют также и в форме комплексных органоминеральных соединений.

8.5. Лизиметрический метод изучения жидкой фазы почв

Более чем столетний опыт применения лизиметров позволил накопить ценную информацию. В последние годы разрабатываются методологические подходы использования лизиметров для обоснования, например, устойчивости агроландшафтов в условиях стремительно нарастающего антропогенеза. Специалисты отмечают пока локальное (вблизи крупных предприятий и городов) и *явно негативное* химическое воздействие не утилизируемых продуктов техногенной деятельности на биоту, почвенный покров и трофические цепи [98].

Существующие критерии оценки поведения поллютантов в экосистемах несовершенны. *Параметры экологического нормирования ПДК, ОДК, ПДВ разработаны без учета своеобразия ландшафтов и почв, процессов почвообразования, трансформации и миграции веществ.* Важным дополнением к оценке загрязнения агроландшафтов является лизиметрический метод. Жидкая фаза почв отражает не только своеобразие их генезиса, но и особенности взаимодействия биоты с гумусом, коллоидами, минералами, а также многообразные процессы трансформации аккумулируемых техногенных соединений.

Лизиметрический метод является одним из оригинальных приемов стационарного (натурного) изучения экосистем. 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. Вильямсом⁹ и в Московском университете Н.А. Качинским. Они сыграли важную роль в накоплении фактической оригинальной информации по различным разделам почвоведения: органическому веществу, гидрологии почв, механизмам отдельных почвенных процессов; помогли глубже осмыслить многообразные экологические функции почв и предопределить разработку новых лизиметрических установок и устройств. Способствовали расширению спектра решаемых почвенно-экологических задач и более широкому географическому охвату объектов изысканий.

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

Использование лизиметрического метода весьма актуально и эффективно при разработке, например, двух важных почвенно-экологических проблем: **во-первых**, при изучении механизмов конкретных почвенных процессов на микро-, мезо- и макроуровнях структурной организации почв, выявлении динамики их свойств, а также диагностике направленности эволюции элементарных почвенных ареалов в реальных экосистемах и, **во-вторых**, при исследовании специфики и масштаба техногенного воздействия на почвы. Отмеченные проблемы взаимосвязаны, хотя и имеют свои особенности экспериментального решения. Информация по этим вопросам позволяет понять своеобразие изменчивости почвы как среды обитания многих живых организмов с экологических позиций, например, передачи информации.

Трудно переоценить возможности применения лизиметрического метода *при мониторинге ландшафтов.* Этому способствуют два благоприятных обстоятельства: уже созданная в нашей стране сеть заповедников и иных стационаров в качестве эталонов (ненарушенных) экосистем и наличие несложных, доступных и недорогих лизиметрических устройств (лизиметры Шиловой, сорбционные лизиметры и другие). Именно лизиметрические наблюдения в реальных экосистемах (ненарушенных, деградированных и полностью разрушенных при техногенезе) 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.

⁹ Данные изыскания проводились с **1904 по 1917** гг. на лизиметрической станции, находившейся на месте современного Почвенно-агрономического музея имени В.Р. Вильямса.

Опыт применения лизиметрического метода свидетельствует, что его эффективность существенно возрастает при сочетании с другими физико-химическими методами: хроматографией и радиоактивными изотопами (А.Д. Кашанский, 1972, 1989; А.Д. Фокин, 1975; А.И. Карпухин, 1984; И.М. Яшин, 1993).

Известно, что метод радиоактивных индикаторов – один из самых точных. Метод хроматографии позволяет эффективно фракционировать сложные смеси веществ, и идентифицировать индивидуальные компоненты.

8.5.1. Основные типы лизиметров, их конструкции и использование

Термин «лизиметр» – производное от греческого слова *lysos* (растворение). С помощью лизиметров измеряют объем природных вод, просачивающихся через тот или иной слой почвы. Корпус лизиметров может быть выполнен из специального бетона¹⁰, синтетических и иных материалов (И.М. Яшин, 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.*

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) применяются для изучения масштаба и формы миграции веществ и некоторых металлоорганических соединений (И.С. Кауричев, И.М. Яшин, 1972, 1989). Лизиметрический метод позволяет исследовать комплексное воздействие факторов природной среды на состояние и вещественный состав почв, растений и грунтовых вод; максимально приблизить к естественным условиям исследование почвенных процессов; моделировать *в почвах и зонах аэрации* различные уровни грунтовых вод, типы водного режима, а также изучать состав почвенного раствора.

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.

В России первыми стационарными лизиметрами инженерного типа были *лизиметры В.Р. Вильямса (1904)*. Подобного типа лизиметры были заложены

¹⁰ Обычные кирпич и бетон довольно быстро разрушаются в почве, а их химические элементы К, Са, Si поступают в приемники лизиметрических вод.

в 1908 г. на опытном поле сельскохозяйственного института в Новой Александрии (Польша) П.Ф. Бараковым.

Кирпичные, зацементированные с внешней стороны лизиметры были установлены на опытном поле сельскохозяйственного института в Бромберге (Б.А. Голубев, 1967). Вместимость 4,4 м³, размеры сторон 2х2х1,1 м, дно закрыто оцинкованной железной пластиной воронкообразной формы с отверстиями в центре. Между дном лизиметра и почвой размещен слой гравия. Водоводы собраны в армированной траншее, расположенной между двумя рядами лизиметров. Фильтрат собирали в цинковый цилиндр, снабженный краном для слива воды и трубкой для измерения уровня воды в цилиндре.

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.

Весовой лизиметр в России впервые был предложен академиком Рыкачевым в 1896 г. (А.И. Субботин, 1968). Один из вариантов его лизиметров-испарителей состоял из трех ящиков. Размеры двух ящиков составляли 25·40 см (в плане). Их устанавливали один над другим в третий ящик несколько больших размеров, который постоянно находился в почве в течение всего опыта. Первый ящик высотой 25 см с сетчатым дном заполняли почвой. Второй ящик высотой 10 см служил для сбора фильтрата.

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 (Ebermaier, 1897), а в России – Вельбелем (1903). Несколько позднее с ними работал В.В. Геммерлинг (1922) на Московской областной опытной станции.

Воронки Эбермайера диаметром 50 и 25 см и высотой 5 см изготавливали из оцинкованного железа. Их устанавливали под исследуемый слой почвы, для чего на выбранной площадке выкапывали галерею произвольных размеров. На одной или обеих боковых (длинных) стенках галереи на различных уровнях по высоте глубоко в почву врезали ниши воронкообразной формы, в которые затем устанавливали воронки, предварительно заполненные дренажной засыпкой (галькой, крупным промытым песком и т.д.). Водовод (отрезок армированной трубки) одним

концом прикрепляли к нижней части сливной трубки воронки, а второй выводили в галерею и опускали в водоприемник. Пространство между воронками и внутренними стенками ниши заполняли изъятой при ее изготовлении почвой. Расстояние между воронками по горизонтали было не менее 70...100 см, расстояние по вертикали определяется схемой исследований, в основе которой лежит генетическая дифференциация почвенного профиля. Галерею армировали бетоном, кирпичом или тесом.

Существенным 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 колонки. Кроме того, при значительном потоке гравитационной влаги происходит «обтекание» приемной части воронки, приводящее к большим погрешностям при балансовых расчетах.

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).

Инновационные лизиметры были разработаны в 90-х годах прошлого столетия на лизиметрической станции в немецком г. Мюнхеберге (под Берлином см. завершающий раздел книги). Их отличает полная автоматизация работы датчиков о свойствах почвы и почвенных растворах с последующей передачей информации в специальный павильон на компьютер. Как правило, подобные лизиметры функционируют с автоматизированной (и автономной) климатической станцией. Основные приборы крепятся на специальной антенне высотой 3-10 и более метров. Энергия вырабатывается солнечными батареями.

8.5.2. Вакуумные пробоотборники

Тензиометры представляют собой один из возможных вариантов вакуумных пробоотборников (Н.А. Муромцев, 1991). 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 отверстия, через которые глубоко 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 Комовского. Значения величин определяют с учетом гранулометрического состава почвенного слоя, в котором установлен тензиометр.



Рис. 40а. Действующая модель вакуумных лизиметров инновационного типа в профиле почвы с выводом полученной информации на компьютер (разработка одной из немецких фирм): Вена, Австрия во время Международного конгресса EGU, апрель, 2015 (фото И.М. Яшина, 2015).

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 тарируемую 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 (Лизиметры в почвенных исследованиях, 1998; Л.Л. Шишов, И.С. Кауричев, Яшин И.М...).

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 устанавливается 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. При строительстве стационарных лизиметров, предназначенных для гидрологических исследований, большое значение приобретает выбор конструктивного материала, поскольку от его качества и стойкости существенно зависят надежность, долговечность и качество работы.

8.5.3. Сорбционные лизиметры

Метод сорбционных лизиметров (МСЛ), был разработан в 1959 г. И.С. Кауричевым и Е.М. Ноздруновой (выдано авторское свидетельство). Он используется главным образом для изучения масштаба миграции водорастворимых органических веществ и ряда 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 Fe^{3+} кварцевым песком (рис.41). Колонки в двух- и трехкратной поперечной 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.

Ключевыми положениями метода сорбционных лизиметров, являются:
1) конструктивные особенности использования сорбционных лизиметров;

- 2) сорбенты, применяемые при решении конкретных экспериментальных задач;
- 3) схема и методы фракционирования компонентов ВОВ;
- 4) идентификация индивидуальных органических веществ в растворах соответствующими методами;
- 5) расчет величин масштаба миграции веществ.

Применив прием концентрирования веществ в массе чистого сорбента или их сочетаний, 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 (И.С. Кауричев, 1965). 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). Вопросы диагностирования латерального (бокового внутрипочвенного) и восходящего (пленочно-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 разные по ориентации 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 при восходяще-нисходящей и боковой миграции.

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 отмывки песка от соединений железа (с 10% HCl) весьма длителен по времени и *не всегда эффективен. Приведем пример из нашей практики.* В 1972 году снс Почвенного ин-та имени В.В. Докучаева Евгений Наумов решил установить сорбционные лизиметры в почвах Колымского края. Он попросил одного из авторов данной работы «отмыть» кварцевый песок, который и представил – 5-7 кг. В течение целого месяца песок находился в контакте с почти концентрированной HCl под

тягой. После отмывки кислоты водой до нейтральной реакции, песок передали Е. Наумову. В контрольном варианте опыта им было установлено довольно высокое содержание в песке фракции кислоторастворимого железа.

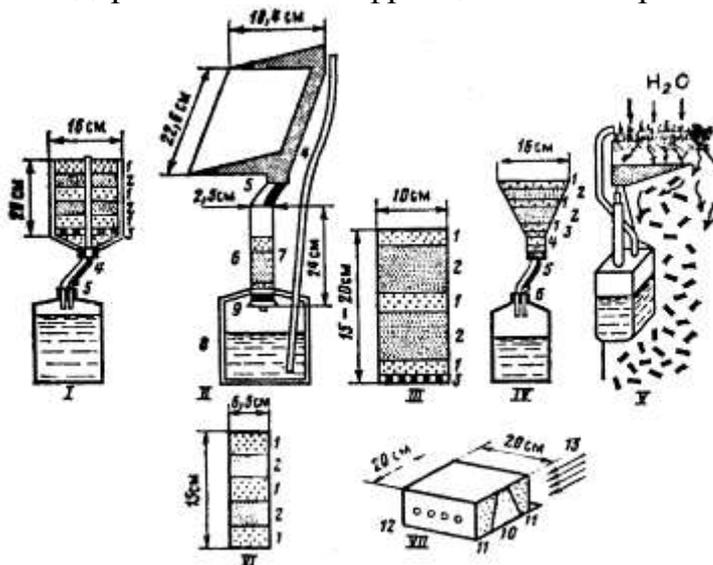


Рис. 41. Конструкции сорбционных лизиметров: I–IV для сорбции водорастворимых веществ с нисходящим током почвенной влаги, V – расположение сорбционного лизиметра (конструкции II) в профиле почвы, VI – сорбционная колонка для учета миграции веществ с восходящим током почвенной влаги, VII – плексигласовая сорбционная колонка для сорбции веществ при боковом внутрипочвенном стоке.

Условные обозначения: 1 – прослой песка (2-2,5 см), 2 – сорбент, 3 – дренаж (слой полиэтиленовых шариков мощностью 1,5 см и слой чистого кварцевого песка 3 см), 4 – плоский лизиметр Шиловой (покрытый эпоксидной смолой), 5 – толстостенный вакуумный шланг, соединяющий приемник вод с сорбционной колонкой, 6 – сорбционная трубка, 7 – вакуумный шланг для откачки воды, 8 – приемник почвенных вод, 9 – резиновая пробка с выводной стеклянной трубкой, 10 – прослой песка, 11 – слой сорбента, 12 – отверстия в задней стенке для выхода растворов, прошедших через слой сорбента (Al_2O_3), 13 – направление движения бокового внутрипочвенного стока (И.М.Яшин, 1973, 1993).

Поэтому мы и разработали в 1989 году новый метод химической очистки от железа кварцевого песка с попеременной его обработкой растворами кислоты, щелочи и натриевыми солями органических лигандов. Время очистки сократилось до 3-5 суток.

Сорбционные колонки подготавливают следующим образом: в колонку на слой дренажа (обычно чистого песка) вносят суспензию сорбента в воде (чаще всего Al_2O_3 для хроматографии), предварительно отвесив необходимую массу. Колонки объемом 600 см^3 заполняют примерно по 100 г, в зависимости от задачи эксперимента и характера расположения слоев – один или несколько. С целью улучшения фильтрационных свойств оксида алюминия добавляют чистый кварцевый песок в соотношении 1:2, 1:5 (песок: сорбент) и хорошо перемешивают суспензию, чтобы добиться примерно равных скоростей фильтрации воды в сорбционных колонках и в почвах стационара. Самый верхний слой сорбента в колонке также покрывают слоем кварцевого песка мощностью 3 см. Он задерживает тонкодисперсные почвенные частички при фильтрации почвенного раствора через колонку,

предотвращая тем самым заиливание пор сорбента. Слои песка и сорбентов обильно увлажняют дистиллированной водой через бумажный фильтр после набивки колонки. Затем сорбционную колонку слегка встряхивают руками в горизонтальной плоскости, чтобы достичь более плотной упаковки частиц сорбента и кварцевого песка; при этом избыток воды стекает.

Подготовленные к работе сорбционные колонки маркируют, упаковывают в целлофановые пакеты и прочно связывают попарно – открытой стороной внутрь. В таком виде их удобно транспортировать в рюкзаке, что весьма важно для их доставки на труднодоступные таежные стационары. Одновременно с колонками маркируют приемники лизиметрических вод, опробуют соединительные вакуумные шланги, упаковывают необходимый инвентарь – дневник, мерную ленту, этикетки, мешочки.

Установка колонок в профиле почвы. 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 - ступенчато. 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, хорошо увлажняя ее и проверяя сочленение колонок с приемниками вод. Очередность установки лизиметров – снизу вверх, *как и при отборе индивидуальных почвенных образцов.*

После закладки всей серии колонок (20...26 установок) траншеею закапывают, маскируют, а в дневнике зарисовывают траншею, ее размеры и расположение лизиметров (можно сделать фото). Соответствующие отметки делают на детальной почвенной карте. На местности оставляют надежные ориентиры (например, *зарубки на деревьях и маркеры*), что особенно важно для пахотных почв стационаров. В дневнике отмечают географическую и топографическую привязки разреза (профиля). Характеризуют состояние и структуру биогеоценоза. Проводят отбор проб почвы, растительности и природных вод. *Информацию записывают на диктофон, что удобно в период дождей. Профиль с лизиметрами снимают на цифровую фотокамеру, и на базе «перебрасывают» в ноутбук. Координаты точно фиксируют по GPS навигатору (США) или Глонасс (Россия).*

По истечении определенного периода полевых наблюдений (год, сезон, месяц) траншеею на стационаре вскрывают (почву укладывают аккуратно на полиэтиленовую пленку) 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.

Анализ веществ из сорбентов. 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. Лизиметрические воды, прошедшие через сорбенты колонок, анализируют в первую очередь: измеряют рН, отмечают окраску, мутность. Проводят очистку, разделение и диагностику состава химических соединений. Эти операции целесообразно осуществлять в первые дни после извлечения сорбционных колонок. Установлено, что 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, сгустков), уменьшение концентрации ВОВ, изменение величины рН в сторону подщелачивания и повышения концентрации угольной кислоты (Е.И. Шилова, 1955, 1972, 1988). В журнале «Почвоведение» отмечена дискуссия по этому вопросу между В.В. Пономаревой и Е.И. Шиловой.

При лабораторном вытеснении сорбированных поглотителями продуктов почвообразования необходимо отметить **в аналитическом журнале** объем элюентов и массу сорбента, используемых затем при расчете выноса химических соединений из генетических горизонтов почвы. С помощью метода сорбционных лизиметров **выделяют, например, компоненты фульвокислотного характера в составе ВОВ**, устанавливают их молекулярно-массовый состав и свойства при последующем фракционировании на гелях – декстрана Молселект, Сефадекс G-10, G-50. Определяют масштаб и формы миграции ионов металлов.

МСЛ привлек внимание специалистов *как для его апробирования*, так и решения генетических и экологических вопросов почвоведения. Был получен обширный оригинальный материал, например, об уникальной роли ВОВ в трансформации почвенных минералов и дифференциации почвенного профиля. В натуральных экосистемах выявлено заметное разнообразие мобильных и миграционно способных форм железа, алюминия и кремния. Установлено активное участие в этих процессах ВОВ специфической (фульвокислоты) и индивидуальной (полифенолы, органические кислоты) природы. Полученные сведения позволили углубить представления о сущности процессов оподзоливания, оглеения, осолодения в различных типах почв Европейского и других континентов: от подзолов Архангельской и Мурманской областей, Карелии, Подмосковья, Республики Коми, бурых лесных почв Прибалтики до почв солонцовых комплексов Прикаспия и Казахстана, черноземов Тувы, Воронежской области и Западной Сибири,

вулканических почв Камчатки, мерзлотно-таежных почв Колымы, ферраллитных почв Вьетнама и Кубы (И.С. Кауричев, И.М. Яшин, Н.П. Панов, В.И. Савич, И.Б. Арчегова, Л.Л. Шишов, А.Д. Фокин, А.Д. Кашанский, В.С. Кащенко, Ю. Семенов, Е. Наумов, Е.В. Мухин, А.А. Петухова и другие).

Достоинства МСЛ:

1) возможность изучения процессов трансформации и миграции веществ в реальных экосистемах;

2) установление форм и масштаба миграции химических соединений в зависимости от конкретных литолого-геоморфологических, гидрологических, геоботанических и почвенно-геохимических условий ландшафта;

3) исследование динамики продуктов почвообразования;

4) маневренность и техническая простота метода позволяют организовать стационарные наблюдения за динамикой веществ в различных географических зонах, провинциях и урочищах, на труднодоступных территориях. МСЛ сохраняет свою значимость среди других типов лизиметров и особенно перспективен при изучении современных процессов почвообразования, а также техногенеза, которые рассматриваются только в реальном почвенно-экологическом пространстве-времени, с позиции системного анализа и динамики развития всех компонентов ландшафта;

5) там же размещают ионоселективные электроды.

Недостатки МСЛ:

1) остается неизвестным источник мобильных веществ (его масса, состояние, склонность к мобилизации и миграции), например ВОВ, поступающих в колонку (за исключением гор. A_0 , A_0A_1 и A_1);

2) сами сорбенты и элюенты могут влиять на состав и свойства веществ;

3) дискуссионными остаются вопросы относительно дренирования некоторого объема почвы сорбционными лизиметрами;

4) масштаб миграции веществ (как параметр) неполно отражает специфику процессов трансформации и внутрпочвенной миграции;

5) результаты лизиметрических опытов не являются строго количественными, поэтому МСЛ особенно эффективен в сочетании методом радиоактивных индикаторов и хроматографией;

6) некоторые исследователи *негативно оценивают МСЛ*, ссылаясь на статистическую обработку данных; высокий коэффициент вариации признака (выноса мигрантов) может свидетельствовать о разной природе источника мобильных веществ в микрizonaх горизонтов почв, а при *неоднородной выборке метод математической статистики неприемлем*;

7) МСЛ не позволяет разграничить и определить вклад каждого из основных механизмов миграции веществ – *конвективного переноса и диффузии*; масштаб миграции отражает интеграционный результат. Важно установить масштаб, формы и скорость водной миграции веществ.

8) **Необходимо учитывать водный баланс по горизонтам почвы и наличие сезонной верховодки.**

8.6. Практика применения хроматографического анализа при изучении почв агроэкосистем

Освоение и распашка лесных почв подзолистого типа приводят к радикальному изменению *функционального состояния экосистем, почв и процессов почвообразования*. При освоении и последующем окультуривании подзолистых почв изменяются роль и функции растительности: в частности, утрачивается её средообразующая роль, поскольку влияние культурной растительности протекает в течение короткого периода вегетации. При этом ежегодно с урожаем из почвы безвозвратно отчуждается значительная часть химических элементов и органических соединений. В пахотных почвах нет аналога лесной подстилки, вследствие чего особенности мобилизации, например ВОВ, из опада иные, чем в лесных почвах. У культурных растений слабо выражен механизм биогенного кислотообразования, поэтому их рост и развитие без средств мелиорации и химизации в условиях подзон тайги явно затормаживаются, а продуктивность резко снижается. Эти и другие особенности функционирования агроландшафтов определяют изучение процессов трансформации и миграции веществ в пахотных почвах. Наряду с этим агроэкосистемы все активнее загрязняются продуктами антропогенеза.

Долговременные лизиметрические опыты показали, что и в лесных (сильноподзолистых), и в пахотных (дерново-подзолистых) почвах учебно-опытного хозяйства «Михаловское» наблюдается отрицательный миграционный баланс ВОВ (табл. 18). Следовательно, в изучаемых почвах преобладает элювиальная направленность миграции ВОВ. Изучаемые почвы характеризуются также чётко выраженной восходящей миграцией. По масштабу она составляет $5,3-7,1 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$, а в составе ВОВ заметно преобладают специфические компоненты – фульвокислоты.

Вертикальный восходящий поток ВОВ и других соединений в почвах таёжной зоны целесообразно рассматривать как важный компенсационный механизм физической природы, ослабляющий элювиальный вынос продуктов выветривания и почвообразования из генетических горизонтов подзолистых почв в грунтовые и поверхностные природные воды. Возникает восходящий поток в летний и зимний сезоны за счёт градиента всасывающего давления почвенных растворов.

Фактические сведения о вертикальной нисходящей миграции ВОВ в годовом цикле были дополнены наблюдениями в стационарном полевом опыте № 7 кафедры земледелия и методики опытного дела РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по двум контрастным сезонам: *осенне-ранневесеннему* (без растительности) и *летнему* при возделывании озимой пшеницы сорта Мироновская 808.

В частности, в опыте № 7 стационара «Михайловское» МСХА, изучаются 9 систем обработки почвы: 1) отвальная, принятая в Подмосковье без удобрений (контроль); 2) отвальная интенсивная с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. на 1 га; 3) отвальная интенсивная с внесением

Таблица 18

Миграционный баланс ВОВ (по Сорг, г/м²) в элювиальной части почвенного профиля лесной и пахотной почв подзолистого типа стационаров в учхозе «Михайловское», (наблюдения 1 год: 1988-1989 гг).

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

2(60N60P60K) кг д. в. + 14,4 т навоза на 1 га; 4) минимальная фрезерная без удобрений; 5) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. на 1 га; 6) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. + 14,4 т навоза на 1 га; 7) сочетание трёхъярусной и отвальной обработок с фрезерной (трёхъярусная обработка на 38-40 см в занятом пару и под картофель, в остальные годы – без основной обработки: предпосевное фрезерование под зерновые на 8-10 см, под картофель – на 14-16 см), без удобрений; 8) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. на 1 га; 9) то же, с внесением 2(60N60P60K) кг д. в. + 14,4 т навоза на 1 га. Использовали удобрения: NH₄NO₃, Ca(H₂PO₄)₂, KCl. Под картофель – K₂SO₄. Азотные удобрения вносили под предпосевную, а фосфорно-калийные – под основную обработки почвы. Известкование проводили доломитизированным известняком – CaMg(CO₃)₂* – дозой по полной гидролитической кислотности в августе, после уборки зерновых, в 1969, 1978, 1987 и 1996 годах.

* С учётом полученных данных рассчитан погоризонтный баланс ВОВ. Например, для лесной подстилки: 60% мобилизованной в раствор массы ВОВ минерализуется до воды, газов и солей (95,5 г/м²·год⁻¹), 21,1% или 21,1 г/м²·год⁻¹, закрепляется на месте и 18,9%, или 30,1 г/м²·год⁻¹, мигрирует в глубь почвы с потоком гравитационной влаги.

** Баланс ВОВ в пахотном горизонте: 79% мобилизованной в раствор массы ВОВ минерализуется (68,5 г/м²·год⁻¹); 15,7%, или 13,6 г/м²·год⁻¹, элюируется в глубь почвы и 5,3%, или 4,6 г/м²·год⁻¹, закрепляется – сорбируется компонентами почвы.

*** Сорбционные лизиметры устанавливали непосредственно в зоне гор. А₂ одной из магистральных трещин, опускающихся до гор. ВС.

* Подразумевается CaCO₃ · MgCO₃, далее везде.

После закладки опыта № 7 в 1969 г. в результате активного окультуривания дерново-подзолистых почв создан мощный пахотный горизонт, заметно улучшились пищевой режим и реакция среды почв, увеличилась степень насыщенности почвенно-поглощающего комплекса основаниями. Однако в почвенном покрове участка (по данным детальной съёмки) ещё сохранились микрозоны почв, которые по своим морфологическим признакам и физико-химическим свойствам весьма близки к целинным (лесным) аналогам (Яшин И.М., 1993; Платонов И.Г., 1998), табл. 19^{**}. В самом деле, свойства окультуренной почвы **заметно изменились только в самом верхнем генетическом горизонте**, который находится как в сфере земледельческой обработки, так и подвергается мелиорации. Нижележащие генетические горизонты, начиная с переходного к иллювиальному, практически не претерпели радикальных положительных изменений. Следует учесть, что лежащие под пахотным горизонтом слои почвы могут оказывать негативное влияние на горизонт $A_{\text{пах}}$, а также на выращиваемые сельскохозяйственные культуры. Именно поэтому и проводят постепенное почвоуглубление гор. $A_{\text{пах}}$ с химической мелиорацией.

В летний период сорбционные лизиметры во всех вариантах опыта устанавливали на глубину 10 см. При этом учитывали неравномерное и неглубокое промачивание гор. $A_{\text{пах}}$ и A_2 в этот сезон и кроме того, колонки располагали в зоне основного сосредоточения корней пшеницы для возможной оценки масштаба корневых выделений. **За летний сезон выпало 205 мм осадков (или 41,4% годового количества), из них за июль – 95 мм или 95 л/м²**. В приемниках лизиметрических вод обнаружено заметно меньше воды, прошедшей через сорбционные колонки (не более **150 мл**) в сравнении с лизиметрами, установленными в лесу. Однако все слои сорбентов и песок были мокрыми, сочилась вода.

В другой серии опытов сорбционные лизиметры использовались для оценки внутрипрофильной водной миграции *ионов тяжелых металлов* в почвах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Поскольку подобные опыты у нас в стране не проводились, были осуществлены серийные изыскания по их сорбции катионитом КУ-2 в H^+ форме и низкозольным активированным углем «карболен».

Установлено, что в элювиальных горизонтах подзола супесчаного, пропитанных «потечным» водным гумусом (точнее ВОВ), наиболее активно выражена мобилизация и нисходящая миграция ионов цинка. Их среднегодовой масштаб миграции составил $302,0 \pm 132,8$ мг/м² за 1 год.

Высокие флуктуации среднего квадратичного отклонения указывают на неоднородность почвенного пространства. Основной формой миграции цинка является ионная: в форме простых и сложных солей с положительным знаком заряда.

^{**} На этих же стационарах были заложены лизиметры **гидрологического типа**, изучены статьи водного баланса пахотных почв (И.С. Кауричев, А.Г. Замаараев, 1978).

Таблица 19

Химические свойства дерново-подзолистых почв опытного поля № 7 учхоза «Михайловское» (числитель – среднее значение признака, знаменатель – средне квадратичное значение признака), И.М. Яшин, 1993.

Генетич. гор. и глубина отбора образцов, см	pH _{кол}	H _г	Поглощённые основания		V, %	Гумус по Тюрину, %	Доступные формы, мг/100 г	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺			H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
			мг · экв / 100 г					
Разрез 6. Целинная почва (лес смешанный, вторичный)								
A ₁ 1-11	4,2	7,1	5,0	1,3	47,0	2,5	4,2	10,0
EL 22-32	4,0	5,0	2,8	1,0	43,2	1,1	3,6	6,1
EL/B ₁ 49-59	3,5	7,3	8,0	3,6	61,4	0,9	4,8	9,6
B ₁ 80-90	3,7	6,5	9,7	4,8	69,0	0,9	9,7	11,0
BC 100-110	3,7	6,4	10,3	5,3	70,9	0,7	8,3	11,0
C 130-140	3,9	5,3	4,8	2,3	57,3	0,9	12,0	9,0
Трансекта длиной 9 м в 0,5 м от разреза 4 (защитная полоса в полевом опыте № 7)								
A _n (max – 30, min – 11)	$\frac{5,5^*}{0,79}$	$\frac{2,22}{1,55}$	$\frac{6,99}{2,04}$	$\frac{3,09}{1,15}$	$\frac{77,1}{9,75}$	$\frac{1,84}{0,52}$	$\frac{20,78}{13,59}$	$\frac{20,76}{9,47}$
EL (max – 22, min – 0)	$\frac{5,1}{0,69}$	$\frac{2,91}{2,21}$	$\frac{6,33}{2,45}$	$\frac{2,36}{1,40}$	$\frac{69,96}{16,73}$	$\frac{1,47}{0,74}$	$\frac{14,54}{17,89}$	$\frac{15,58}{9,44}$
Разрез 5. Освоенная почва (трёхъярусная вспашка на 38-40 см, посев кукурузы на зелёный корм)								
A _n 0-19	5,3	2,8	7,8	3,3	80,0	1,9	21,0	24,8
A _n 22-32	5,3	2,5	8,5	3,6	82,9	1,5	11,0	9,3
A _n 35-44	4,5	3,7	8,9	3,9	77,6	1,5	4,6	7,3
B _g , 65-75	3,6	9,4	11,0	5,3	63,4	0,9	6,0	11,0
BC _g , 90-100	3,8	6,5	13,3	6,7	75,5	1,0	7,2	11,0
Среднее по разрезам 1, 2, 3 освоенной почвы (отвальная вспашка на 20-22 см, посев овса)								
A _n 0-25	$\frac{4,7}{0,43}$	$\frac{3,4}{0,8}$	$\frac{6,40}{0,72}$	$\frac{2,63}{0,25}$	$\frac{71,9}{5,45}$	$\frac{1,4}{0,26}$	$\frac{10,86}{7,51}$	$\frac{15,04}{8,54}$
EL/B 27-37	$\frac{3,7}{0,44}$	$\frac{7,6}{3,1}$	$\frac{6,33}{2,21}$	$\frac{2,70}{0,78}$	$\frac{54,3}{18,35}$	$\frac{0,8}{0,15}$	$\frac{7,23}{3,65}$	$\frac{9,53}{1,16}$
B 80-90	$\frac{3,6}{0,17}$	$\frac{7,5}{1,8}$	$\frac{10,46}{3,26}$	$\frac{5,13}{0,75}$	$\frac{66,9}{10,6}$	$\frac{0,6}{0,15}$	$\frac{6,13}{1,37}$	$\frac{10,2}{0,75}$
B/C 129-139	$\frac{3,7}{0,50}$	$\frac{7,4}{0,9}$	$\frac{13,90}{8,11}$	$\frac{6,97}{4,17}$	$\frac{71,0}{10,15}$	$\frac{0,7}{0,25}$	$\frac{5,47}{0,91}$	$\frac{8,5}{3,54}$
C 154-164	$\frac{4,1}{0,17}$	$\frac{5,4}{1,4}$	$\frac{13,57}{1,31}$	$\frac{6,73}{0,90}$	$\frac{79,4}{3,16}$	$\frac{0,7}{0,06}$	$\frac{5,40}{1,82}$	$\frac{7,9}{0,23}$
Разрез 4. Освоенная почва (минимальная фрезерная обработка на 8-10 см)								
A _n 0-15	5,9	2,1	7,2	2,6	82,4	1,6	47,3*	37,5
EL15-21	4,3	2,5	4,2	1,7	73,8	0,7	10,0	14,0
EL/B ₁ 35-45	3,7	7,4	7,6	3,5	60,0	0,7	7,2	14,2
B ₁ 62-72	3,4	9,4	9,1	4,4	59,0	0,7	4,2	11,6
BC _g 95-105	3,5	7,3	14,0	7,7	74,8	0,5	3,8	7,0
C _g 131-141	4,0	4,9	12,8	6,7	79,6	0,9	5,5	9,8

Масштаб миграции ионов свинца оказался на порядок меньше. Его основной формой миграции являются *свинецорганические комплексные соединения*, имеющие нулевой или отрицательный знак заряда и эффективно сорбируемые активированным углем. Их доля составляет 61,9% от общей массы мигранта. Кадмий мигрирует как в форме органоминеральных комплексных соединений (45,0%), так и в форме простых солей с положительным знаком заряда (табл. 20).

В третьей серии полевых опытов, наряду с сорбентами, изучался защит-

* Образец почвы с удобренной деланки опыта.

Масштаб вертикальной нисходящей миграции ионов Pb^{2+} , $Cd^{2+} + Zn^{2+}$ в горизонтах **O** и **EL_h** подзолов контактно-глееватых супесчаных, развитых на двучленных отложениях ЛОД в период 06.1999-06. 2000 гг. *Парцелла*: лиственница, подрост из клёна.

Вариант опыта, глубина установки сорбционных лизиметров (см)	Значения при знаке	ТМ, вытесненные из сорбентов, мг/²·год ⁻¹						Общий масштаб миграции ионов тяжелых металлов за 1 год (акт. уголь + КУ-2), мг/м ²			Вынос $C_{орг}$ ВОВ , г/м ² ·год ⁻¹
		из активированного угля 2% NH_4OH			0,1 н. HNO_3 из КУ-2 в H^+ -форме			Pb^{2+}	Cd^{2+}	Zn^{2+}	
		Pb^{2+}	Cd^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}	Cd^{2+}	Zn^{2+}				
1. Контроль 1* - сорбционные колонки только с сорбентами: КУ-2 и акт. углем под гор. EL_h (10 см)	\bar{x} σ P, %	31,5 13,4 42,5	2,5 0,8 32,2	72,4 54,4 72,5	13,7 4,0 28,8	4,2 7,9 188,3	378,4 24,2 6,4	45,2	6,7	450,8	18,7± 3,4
2. Контроль 2 — колонки только с сорбентами: КУ-2 и акт. углем под гор. EL_h (12 см)	\bar{x} σ P, %	14,3 1,7 12,2	1,3 0,4 30,4	44,9 31,6 69,8	10,0 7,6 75,9	4,2 7,9 90,3	378,4 24,2 80,1	24,3	2,0	195,4	11,5± 2,8
3. Контроль 3 — колонки только с сорбентами: КУ-2и акт. углем под гор. EL_h (14 см)	\bar{x} σ P, %	18,1 0,5 29,3	1,7 0,5 29,3	69,7 56,9 81,7	15,6 8,3 53,4	1,5 0,2 11,2	190,2 74,4 39,1	33,7	3,2	259,9	14,9± 3,5
Среднее по варианту контроль: горизонты O+EL _h	\bar{x} σ P, %	21,3 9,0 42,4	1,8 0,6 33,9	62,3 15,2 21,7	13,1 2,9 21,7	2,1 1,8 87,3	239,7 121,8 50,8	34,4 10,5 30,4	4,0 2,4 61,0	302,0 132,8 44,0	15,0± 3,2
Сорбция ТМ акт. углем и КУ-2 (%) от общего масштаба миграции	—	61,9	45,0	20,6	38,1	55,0	79,4	100	100	100	—

ный эффект тонкодисперсного порошка доломита, традиционно используемый при известковании почв подзолистого типа. Порошок доломита ровным слоем, около 1,5 мм, располагался в самой верхней части сорбционных колонок (над сорбентами) и сверху покрывался 1,5 – 2,5 см слоем чистого кварцевого песка. Зная массу ионов ТМ, мобилизуемую в раствор **в контроле** (в гор. **O** и **E_h**), можно узнать скорость мобилизации ионов ТМ и из используемого мелиоранта. Установлено, что наиболее активно мобилизация и нисходящая миграция выражена у ионов **цинка** – 214,6 мг/м² за 1 год. При этом **31,8 %** их новообразованной массы мигрирует в форме устойчивых водорастворимых *цинкорганических соединений*. Порошком доломита **ионы цинка не поглощаются**: обнаружен обратный эффект - отрицательная «сорбция».

Ионы свинца менее интенсивно мобилизуются в раствор в сравнении с ионами цинка, но сорбируются порошком доломита достаточно полно - 75,1%. Ионы кадмия поглощаются порошком доломита на 53,3% (табл.21).

В вариантах опытах, когда в колонки вносили водный раствор *хлорида кадмия*, сорбция ионов свинца порошком доломита заметно снижалась, возможно, сказывалась конкуренция за сорбционные участки.

Мобилизация и сорбция ионов тяжелых металлов сорбентами и порошком доломита в сорбционных лизиметрах, установленных в профиле почвы Лесной опытной дачи. Парцелла: лиственница + подлесок из клена. Длительность опыта: 06. 1999 – 06. 2000 гг.

Вариант опыта, глубина установки колонок с сорбентами и мелиорантами (см)	Значения признака	Тяжелые металлы, вытесненные из сорбентов, мг/м ² ·год ⁻¹						Общий масштаб миграции ионов тяжелых металлов (сорбция сорбентами), мг/м ² ·год ⁻¹		
		акт. угля – 2% NH ₄ OH			из КУ-2 – 0,1 н. HNO ₃					
		Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺
4. Порошок доломита и сорбенты: акт. уголь и КУ-2 в Н ⁺ форме	\bar{x} σ	5,3 1,1	0,84 0,23	68,3 0,33	10,6 1,7	2,2 0,3	146,3 68,4	15,9	3,04	214,6
Сорбция ионов ТМ доломитом / % контролю		<u>16,0</u> 75,1	<u>0,96</u> 53,3	Отриц. сорбция	<u>2,5</u> 19,1	Отриц. сорбция	<u>93,4</u> 39,0	<u>18,5</u> 53,8	<u>0,96</u> 24,0	<u>87,4</u> 28,9
5. Без доломита: введено 10 мгCdCl ₂ + сорбенты: акт. Уголь + КУ-2)	\bar{x} σ P, %	13,3 4,4 33,3	1,8 91,0 87,3	104,2 91,0 38,0	10,0 3,8 38,0	1,4 0,2 15,2	57,6 61,5 106,8	<u>23,3</u> 67,7	<u>3,2</u> 80,0	<u>161,8</u> 53,6
Сорбция ТМ сорбентами (без доломита), но в присутствии ионов Cd²⁺/% к контролю		<u>10,0</u> 46,9	<u>1,0</u> 55,6	Отриц. сорбция	<u>3,1</u> 23,7	<u>0,7</u> 33,3	<u>182,1</u> 76,0	<u>13,1</u> 38,1	<u>1,7</u> 42,5	<u>182,1</u> 60,3
6. Порошок доломита + 10 мг CdCl ₂ + сорбенты, мг/% к контролю	\bar{x}	<u>9,0</u> 42,3	<u>0,73</u> 40,6	<u>57,5</u> 92,3	<u>4,1</u> 31,3	<u>0,36</u> 17,1	<u>114,6</u> 47,8	<u>13,1</u> 38,1	<u>1,09</u> 27,3	<u>172,1</u> 57,0

* По разности между параметрами «контроль» средние значения \bar{x} и вариантами с доломитом, плюс те же сорбенты.

8.7. О трансформации веществ на барьерах миграции

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

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

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

3-я группа — условия, определяющие свойства и режимы почв. Они влияют на подвижность и мобилизацию ионов металлов и веществ из

компонентов почвы, а также поступающие в нее чуждые вещества — экотоксиканты.

Первая группа условий предусматривает оценку, с одной стороны, климатических параметров региона и их влияние на увлажнение территории (количество осадков, их режим, мощность снегового покрова, режим снеготаяния, коэффициента увлажнения - КУ), а с другой — учет комплекса конкретных локальных факторов, определяющих водопроницаемость и водоподъемную способность почв (как миграционного барьера), а также поверхностный сток: гранулометрический состав, мощность гумусового слоя, почвогрунтов, условия рельефа и наличие растительности.

Для примера *сопоставим условия миграции* на покатом склоне моренного увала (при различном гранулометрическом составе почвенно-грунтовой толщи): в одном случае — это мощные покровные тяжелые суглинки, в другом — флювиогляциальные крупнозернистые супеси на песках или флювиогляциальные песчано-супесчаные отложения мощностью до 60 см на суглинистой морене. Здесь наблюдаются существенные различия в абиогенной миграции веществ из-за неоднозначных процессов поверхностной эрозии, внутрипочвенного и латерального потоков, а также механизмов инфильтрации. На мореном увале будет преобладать поверхностный (эрозионный) сток практически без измерения химического состава и свойств мигрантов. В песчано-супесчаном субстрате — внутрипочвенный (боковой) вынос веществ с радикальной химической трансформацией молекулярно-массового состава ВОВ, изменением свойств и форм миграции в частности, ионов металлов: Fe^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Be^{2+} . Рассматривая первую группу внешних условий, необходимо оценить дифференциацию ландшафтов в связи с их конкретной гидрологической характеристикой, прежде всего с состоянием зоны выщелачивания.

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

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

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

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

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

Вторая группа условий, определяющих химический и минералогический состав почво-грунтов, характеризует потенциальные возможности мобилизации в растворимое состояние химических элементов почвенных соединений и вносимых в почву органических и минеральных удобрений, а также химических мелиорантов. Легкорастворимые формы удобрений (калийные соли, растворимые азотные удобрения) на песчано-супесчаных почвах способствует повышенной миграции в почвах и ландшафтах ионов K^+ , NO_3^- , Cl^- , F^- , загрязнению ими грунтовых вод и усилению подвижности ТМ. Наличие засоленных горизонтов в почвах сухостепной зоны указывает на возможность мобилизации легкорастворимых солей при орошении и резком изменении масштабов их миграции в пределах ЭГЛ, а также негативном влиянии на произрастающие растения вследствие вторичного (восходящего) засоления почвенных горизонтов.

Третья группа условий характеризует свойства и режимы почв, усиливающие или затормаживающие перевод химических элементов из сложных соединений в растворимую и доступную для растений формы. К ним следует отнести: щелочно-кислотные свойства, ОВ-состояние (режимы) почв, сорбционную способность, микробиологическую активность и факторы, их определяющие. Например, возникающие в почве временные восстановительные условия (поверхностно-оглеенные почвы) способствуют развитию процесса *денитрификации* ($NO_3^- \rightarrow N_2 \uparrow$) и потере азота за счет его миграции в форме NO_3^- и N_2 при воздухообмене; эти же условия приводят к образованию повышенного количества ВОВ и, как следствие, возникновению более интенсивной трансформации различных элементов в растворимые и миграционные формы соединений: например, катионные формы пестицидов, образование фосфорорганических соединений. *Почвы хорошо гумусированные более полно поглощают многие пестициды, ослабляя на время их водную (абиогенную) миграцию в ландшафтах.*

Другим примером деградации барьеров миграции является эрозионный смыв песчано-супесчаного наноса (и деградация иллювиально-железистого **Vf** барьера) у почв подзолистого типа, имеющих двухчленное сложение почвенного профиля, после сведения леса. Вышедшие на поверхность глинистые или тяжелосуглинистые субстраты на европейском Севере менее благоприятны по свойствам, чем супеси и пески. Их весьма сложно окультуривать и лучше перевести в земли запаса (а частично и в неудобь).

В современный период наблюдается химическая деградация гор. **Bf(h)** в альфе-гумусовых подзолах, приуроченных к борovým террасам рек Сев. Двина, и зандровым отложениям Карелии. Механизм деградации, по-

видимому, связан или с усилением биогенной активности микроскопических плесневых грибов-кислотообразователей, более активной миграцией окисленных форм ВОВ, действием «кислотных дождей» и совместной реализацией этих процессов. *Наряду с отмеченными фактами, в почвах реализуется множество реакций, результаты которых визуалью не отражаются на морфологии и химических свойствах, но приводящих к химической (структурной) деградации гумусовых веществ.* Это сказывается на инертности гумуса, его слабой химической активности и изменении ряда экологических функций гумусовых соединений (ГС). Такой гумус напоминает хранилище информации, которую биоте пока невозможно использовать. В его составе доминирует негидролизуемый остаток – гумин.

Разработка экологических критериев деградации гумусовых соединений и нормирование техногенных нагрузок на почвы и другие компоненты агроландшафтов — сложные и актуальные проблемы. Они обусловлены негативными результатами часто необоснованного, а нередко и агрессивного техногенного воздействия на компоненты биосферы — почву, растительность, природные воды. Результат подобной деятельности сейчас уже хорошо известен почвоведом, геохимикам, экологам и земледельцам: повсеместное химическое загрязнение и даже разрушение геосфер Земли.

Возникла необходимость в комплексных эколого-геохимических исследованиях на разных уровнях организации веществ в ландшафте. Для отдельных экосистем следует осуществлять и экологическую экспертизу. Решение указанных задач зависит не только от правильного выбора методов исследований, которые должны отличаться определенностью выявляемых диагностических параметров, но и от *методологии изысканий*. Известно, что пока преобладает химический подход, используются весьма сильные реагенты, которые отсутствуют в экосистемах. Отсюда возникают артефакты, труднообъяснимые и неопределенные.

Процесс деградации ГС (органоминерального почвенного барьера) — это совокупность различных по природе и направленности реакций, протекающих в генетических горизонтах конкретной почвы, в ответ на целенаправленное (или неосмотрительное) воздействие тех или иных продуктов техногенеза (легкорастворимых солей, кислот, щелочей и других соединений), приводящее не только к изменению состава, свойств и структуры ГС, но и трансформации их некоторых функций в почве.

Когда уничтожается естественная растительность и распахиваются целинные почвы, наблюдается резкое изменение биогенного круговорота веществ (его емкость), гидротермического режима и состава групп живых организмов в экосистемах различных географических зон Земли, что обуславливает прежде всего изменение биогеохимического цикла углеродсодержащих соединений в системе: жидкие водорастворимые органические вещества (ВОВ) ↔ газообразные (CO₂, CH₄ и др.) ↔ твердые продукты (ГС).

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

Внутренние факторы присущи почвам и определяются спецификой взаимодействия и взаимовлияния растительных сообществ (имеющих наибольшую биомассу) с компонентами почв, т.е. процессами почвообразования и биогеохимического круговорота веществ. Указанные факторы (точнее продукты почвообразования) воздействуют на молекулярные структуры ГС на ионно-молекулярном уровне путем сорбции, миграции ВОВ, газов, ионов H_3O^+ , продуцируемых не только растениями и микроорганизмами, но и активно мобилизуемых в раствор из растительного опада и лесных подстилок. Своеобразие внутренних факторов зависит от гидротермического, окислительно-восстановительного и пищевого режимов, а также генезиса почв.

Деградацию ГС могут вызывать не только продукты техногенеза, но и естественные факторы, которые в аномальных биосферных условиях приводят к полному или частичному уничтожению растительного покрова — пожары, землетрясения, извержения вулканов, наводнения, засухи. Их следствием становится резкое уменьшение биомассы растений и опада основных поставщиков ВОВ как источника ГС почв. Эти уникальные процессы изучены слабо.

Компоненты антропогенных соединений в основной массе являются токсикантами, поскольку нетипичны для биосферы (в ней не воспроизводятся) и представляют угрозу как для живых организмов, так и для ГС почв. В отличие от внешних факторов действие продуктов подобных веществ прослеживается на наиболее уязвимом для биоты и ГС направлении — ионно-молекулярном уровне, где господствуют химические и физико-химические, в том числе и сорбционно-десорбционные, ионообменные взаимодействия и превращения веществ (И.М. Яшин, 1993).

Нами предлагаются следующие основные группы мезопроцессов, вызывающих деградацию ГС в почвах ландшафтов:

- а) механические — водный сток и эоловый перенос ГС в составе фракций мелкозема по поверхности почв;
- б) фотохимические — воздействие лучистой энергии (квантов $h\nu$) Солнца;

в) химические — воздействие легкорастворимых солей, щелочей, органических и минеральных кислот.

г) биохимические — связанные с активизацией ферментов новых групп микроорганизмов, способствующих более быстрой трансформации, в том числе и минерализации, консервативных — устойчивых ГС, сорбционно закреплённых на матрице почвы;

д) биогеохимические — обуславливают образование новых и трансформацию зрелых молекулярных структур ГС за счет внутрипочвенной (водной) миграции ВОВ, мобилизуемых в раствор из растительных остатков и корневых выделений живых растений (Черников В.А., Яшин И.М., 1996).

Деградация ГС почв может быть вызвана прямым воздействием продуктов техногенеза, например, водорастворимых солей, содержащимися в орошаемых водах, удобрениях, эоловых и приморских отложениях, и вовлекаемых в циклы почвообразования в сухо-степной зоне.

Продукты техногенеза (в частности, ионы тяжелых металлов — Cd, Pb, Zn и др.) могут оказывать и опосредованное влияние — через биоту. Так, в шведских, австралийских и американских фосфатных туках обнаружено до 17...90 мг Cd на 1 кг. То же иногда наблюдается и в отношении Zn и Sr (Я.М. Амосова и др., 1988). В условиях таежной зоны (при активном формировании ВОВ с ярко выраженными кислотными и комплексообразующими свойствами) ионы тяжелых металлов активно мобилизуются в раствор и приводят к сукцессиям групп микрофлоры — доминированию грибов (плесневых), которые являются активными кислотообразователями. Новообразованные ВОВ, связывая ионы тяжелых и типоморфных металлов в водорастворимые органо-минеральные и иные соединения, способствуют их более активной внутрипочвенной и геохимической миграции. Главное, что такие соединения более доступны живым организмам, чем их нахождение в типичных (труднорастворимых) для почв и кор выветривания формах. Констатируется усиление процессов мобилизации ВОВ, в частности, их наиболее миграционно способных компонентов — низкомолекулярных органических (НМОК), уроновых и фульвокислот. Последние при водной внутрипочвенной миграции вступают во взаимодействие с нативными ГС почв, обуславливая их трансформацию (И.М. Яшин и соавт., 2004).

Заметный ущерб функционированию системы растительные фитоценозы ↔ ГС почв наносят «кислотные дожди» (*термин введен английским химиком А. Смитом*). Климат европейской части России формируется при активном участии воздушных масс Атлантики. Поэтому на европейскую территорию страны привносится в 8...10 раз больше промышленных выбросов, чем возвращается в обратном направлении. В северной Европе, например, на 1 га ежегодно выпадает 30...60 кг серы и 15...30 кг азота. Вообще в атмосферу Земли за год выбрасывается > 100 млн. т. оксидов серы и 50 млн. т. азота. «Кислотные дожди» (с pH 2...3,6) приводят к выщелачиванию из почв щелочноземельных оснований, кислотному гидролизу ГС и минералов,

угнетению, а нередко гибели живых организмов почв. Одновременно наблюдается скачкообразный переход в мобильное состояние тяжелых металлов — Zn, Cd, V и Cu. Из-за «кислотных дождей» в последние годы в 2000 озер Швеции исчез лосось, в ФРГ погибло 1500 га зрелого леса. Дожди на севере США стали более кислыми в 30...40 раз. По данным канадских авторов, водорастворимые органические вещества, содержащиеся в озерной воде в динамическом потоке, **извлекают из медных трубопроводов** соответственно (мкг/л): 5 (Cu^{2+}), 3 (Pb^{2+}) и 44 (Zn^{2+}), а в статике (настаивание 10 сут): **4267** (Cu^{2+}), **329** (Pb^{2+}) и **2080** (Zn^{2+}). Таким образом, чем продолжительнее контакт ВОВ кислотной природы с различными металлами, тем активнее мобилизация в раствор ионов металлов и формирование новых металлорганических и иных комплексов, активно реагирующих затем с ГС, особенно в периоды сезонного переувлажнения верхних генетических горизонтов почв (И.М. Яшин, 1074, 1993; Ф.Р. Зайдельман, 1998, 2003).

Своеобразное химическое влияние на ГС оказывают легкорастворимые минеральные удобрения (активные химические электролиты) и различные мелиоранты — фосфогипс, фосфорит и известковые материалы. А.Ю. Кудеяровой (1991), например, установлено, что высокие дозы ортофосфатов, вносимые в дерново-подзолистую почву, способствуют заметной мобилизации в раствор мобильных форм ГС и их миграции в генетическом горизонте ($A_{\text{пах}}$). Однако механизмы таких взаимодействий и особенности трансформации удобрений и мелиорантов с участием ВОВ, солей и других соединений остаются экспериментально слабо обоснованными.

Установлено, что эти вещества влияют на пищевой режим, величину рН и Eh, на состояние почвенно-поглощающего комплекса и биологическую активность почв агроландшафтов. Однако и эти вопросы требуют дальнейшего обоснования. Растворимость ГС в лабораторных условиях, например, может уменьшаться из-за повышения активности ионов Ca^{2+} (мобилизуемых из мелиорантов), Fe^{2+} и Al^{3+} . Пептизация ГС протекает наименее активно после внесения фосфогипса. Использование CaCO_3 резко снижает долю фракций ГС, извлекаемых непосредственно водным раствором 0,1 н. NaOH.

Критерии и параметры диагностики гумусового состояния почв охарактеризованы и совершенствуются лишь в последние годы 20-го столетия (Л.А. Гришина, 1986; Р.Тейт, 1991; И.М.Яшин, 2005). Представления о биогеохимических принципах гумусообразования сформулированы Д.С. Орловым (1990), но они требуют экспериментального обоснования в ландшафтах.

Диагностические же критерии структурной деградации ГС в почвах агроландшафтов только начинают разрабатываться, во-первых, не так давно существовала точка зрения, что удобрения и мелиоранты, вносимые в почву, не могут негативно воздействовать на ГС почв. Во-вторых, диагностика гумусового состояния *в принципе не завершена*, как и не завершены научные

изыскания по проблеме формирования системы ГС в почвах различных геохимических ландшафтов. «...Ни одну из разработанных схем превращения гумусовых веществ нельзя считать доказанной. Почти каждый факт, используемый для подтверждения какой-нибудь схемы, может быть почти с тем же успехом обращен в пользу другой», отмечая далее «...конечный итог гумусообразования будет... зависеть от двух факторов — термодинамической устойчивости образующихся молекул и кинетики трансформации (ГС и растительных остатков — И.Я.) под воздействием почвенной биоты» (Л.А. Гришина, 1986).

8.7.1. Движущие силы водной миграции веществ

Следует учитывать и *движущие силы водной миграции*: в разных ландшафтах земного шара они заметно различаются. В гумидных ландшафтах важную роль играет *круговорот воды и промывной водный режим почв*. Причем они реализуются при активном участии, например, таежной биоты и разнообразных продуктов ее жизнедеятельности. Среди них особую экологическую роль играют компоненты ВОВ с кислотными и иными свойствами (И.М. Яшин, 1993, 2013).

Другим важнейшим агентом миграции химических элементов является *биогенный круговорот, имеющий, как правило, аккумулятивный вектор*. Совокупность явлений, охватывающих трансформационный пул веществ в экосистемах тайги, неразрывно связана с круговоротом органического углерода, способного совместно с атомами кислорода, водорода и азота формировать многообразные (и взаимопереходные) формы органических соединений — основу жизни на Земле. Этот круговорот неразрывно сочетается с другими уникальными природными макропроцессами — *фотосинтезом, азотфиксацией и гумусообразованием*. Первый процесс является стабильным и мощным источником новообразованных биоорганических веществ, свободного молекулярного кислорода и закодированной информации в синтезированных органических и металлорганических соединениях. *Последний* — способствует формированию хранилища биологической информации* и энергии в почвах. Экологические условия, в частности, таёжной зоны обуславливают образование и функционирование в почвах *динамичных, неравновесных и самоорганизованных систем* различного генезиса, например, гумуса. В их развитии активное участие принимают компоненты водорастворимых органических веществ (ВОВ) с кислотными и комплексообразующими функциями; они являются связующим звеном между *фотосинтезом и гумусообразованием*. В компонентах ВОВ зашифрована и передается по трофической и иным цепям экосистем известная информация функционирующей биоте. Компоненты ВОВ, очевидно, можно

* Биологические структуры кроме «памяти» о прошлом сочетают в себе самоорганизацию (порядок) и химическую активность; эти особенности передаются и гумусу.

рассматривать и как корректоры (готовые вставки), используемые живыми организмами для исправления нарушенных участков биологических программ.

Процессы почвообразования обуславливают появление в почвенных растворах *пассивных и активных форм мигрантов*. Первые, не претерпевая радикальных превращений, могут мигрировать по склонам в виде эрозионного стока, а также переноситься ветром на большие расстояния. Активные формы мигрантов в почвах наиболее интересны в экогеохимическом отношении.

Рассмотрим параметры их оценки.

Проводятся следующие взаимосвязанные операции:

- 1) расчет величины масштаба абиогенной миграции (по генетическим горизонтам),
- 2) оценка средней линейной скорости миграции в профиле почвы,
- 3) разработка концепции «абиогенных полей» миграции в биогеоценозе,
- 4) диагностика коэффициента интенсивности водной миграции и другие: поведение химических элементов на сорбционных барьерах.

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

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

Пример: в 1 н. NaOH десорбенте ($V = 250 \text{ мл}$) из $50 \text{ г Al}_2\text{O}_3$ установлена концентрация органического углерода ВОВ, равная $125,0 \text{ мг/л}$. Следовательно, масса m данного мигранта в элюате будет равна $31,25 \text{ мг}$:

$$C \cdot V = 125 \text{ мг/л} \cdot 0,25 \text{ л} = 31,25 \text{ мг} \quad (6),$$

а на всю навеску сорбента в сорбционной колонке она составит $62,5 \text{ мг}$. Исходя из соотношения рабочей площади лизиметра ($66,4 \text{ см}^2$) и расчетной поверхности почвы (1 м^2), находят искомую величину массы углерода ВОВ в щелочном элюате.

В следующей аналитической операции используют водный раствор $0,1 \dots 1,0 \text{ н. H}_2\text{SO}_4$, который пропускают через сорбент после его промывки водой ($200 \dots 300 \text{ мл}$). Диагностированную массу углерода ВОВ суммируют с предыдущей.

Поскольку часть компонентов ВОВ сорбируется Al_2O_3 необратимо (по типу химической сорбции), целесообразно определять углерод ВОВ непосредственно в сорбенте по методу Тюрина в модификации Симакова, соблюдая меры предосторожности при нагревании (возможен выброс части

хромовой смеси). Искомая величина общего органического углерода в Al_2O_3 выражается массовыми процентами.

Пример: допустим, в верхнем слое Al_2O_3 (общей массой 125 г) содержание $C_{общ}$ 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 – 0,17% (общая масса Al_2O_3 – 109 г), или 185,3 мг на всю навеску.

По первому слою абиогенный вынос углерода ВОВ составит $65,9 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$, по второму (нижнему) – $27,9 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ ¹¹. Общий вынос – $93,8 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$. Полученную величину целесообразно сравнить с расчетами кислотно-щелочных элюатов и сделать вывод о природе миграционных групп ВОВ. Отдельно рассчитывают массу ВОВ в приемниках вод¹².

Ориентировочный вынос мигранта (например, ВОВ из гор. A_0 подзолистой почвы в лесном биогеоценозе) при использовании метода сорбционных лизиметров в первом приближении можно прогнозировать, исходя из соотношения следующих реальных (выявлены в натурном опыте) величин:

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

где m – масса углерода ВОВ, поступившая из лесной подстилки в зону действия лизиметрической установки ($\text{г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$) в условиях Няндомского стационара Архангельской обл.; Q – объем воды, профильтровавшейся через сорбционную колонку с активированным углем и Al_2O_3 и поступившей в приемник – 2,7 л; C_0 – концентрация углерода ВОВ в природном почвенном растворе (0,250 г/л); S – площадь сечения потока гравитационной воды, заданная в виде рабочей площади сечения сорбционного лизиметра (в опыте $66,4 \text{ см}^2$); t – время функционирования лизиметров (один год).

Исходя из выражения (31), одним из приемов повышения эффективности действия сорбционных колонок является увеличение или времени их функционирования, или площади сечения. Перспективно использование емких, с обратимым характером сорбции, поглотителей, в частности, и новых типов сорбентов. В большинстве случаев реальные величины вертикальных нисходящих миграционных потоков ВОВ в почвах таежной зоны обычно в несколько раз меньше. Это обусловлено не только использованием в сорбционных лизиметрах только одного типа сорбента, например Al_2O_3 , но и вследствие интенсивной минерализации компонентов ВОВ в сорбентах группами микроорганизмов.

¹¹ Вынос рассчитывают из следующего соотношения:

$$\frac{437,5 \text{ мг} - 66,4 \text{ см}^2 \text{ (рабочая площадь колонок)}}{x - 10^4 \text{ см}^2 \text{ (расчетная площадь почвы)}} = 65,9 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1} \quad (8)$$

¹² Концентрацию кислорода ВОВ в приемных водах лизиметров умножают на объем природного раствора (л). Затем, исходя из массы «С» ВОВ (г), рассчитывают вынос ВОВ. Результат суммируют с прежним, получая величину масштаба абиогенной миграции по данному лизиметру ($\text{г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$).

Объем фильтрующейся (гравитационной) влаги, поступившей в зону функционирования лизиметра, можно *ориентировочно оценить*, исходя из водного баланса подзолистой почвы (А. Роде, 1963) в ельнике Тверской обл. (в пределах реального водосбора).

Анализ экспериментальных данных из работ А.А. Роде (1963) показывает, что в расходной части водного баланса первое место – от общего расхода – занимает десукция древостоем (24...45%), второе – испарение осадков с крон (22...25%), третье – разные виды стока (в том числе и инфильтрация воды в почву – 3...24%). Рассматриваемые параметры весьма динамичны во времени. Исходя из средней величины годовых осадков 579 мм и 24%-м расходе на миграцию в почве фильтрующаяся масса воды в профиле подзолистой почвы составит 139 мм. Известно, что масса воды в 1 мм жидких осадков на 1 га составляет 10 т. Отсюда масса воды, просочившейся через расчетную площадь 1 м², будет равна 139 кг/м². На основе соотношения рабочей площади сорбционного лизиметра (407 см²) и расчетной поверхности почвы (1 м²) найдем искомую величину: 5,7 л Н₂О. При площади сорбционного лизиметра 66,4 см² эта величина будет равна примерно 1 л.

Мобилизуемые 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 одного состояния и форм в другие. Например, углерод, фосфор и азот могут находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии, а железо и марганец – легко менять валентность и переходить из ионно-молекулярного в коллоидное состояние, активно образовывать устойчивые водорастворимые органно-минеральные продукты. 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.

При моделировании рассматриваемые определения можно задать с помощью *миграционной функции*, обуславливающей характер распределения новообразованной массы М, например ВОВ, в конкретном почвенном пространстве S – генетическом горизонте, почвенном профиле,

элементарном почвенном ареале – в виде изменения массы мигранта g за интервал времени t , в форме

$$\frac{dM}{ds} = g(x, y, z, t). \quad (9)$$

Для реального ЭПА (или педона) целесообразно выделить два масштаба времени: время t_1 , отражающее масштаб мобилизации в раствор абсолютной (возможной) и массы ВОВ в заданной точке пространства экосистемы, и время t_2 , характеризующее масштаб миграции этих продуктов почвообразования с учетом специфики их взаимодействия с минеральными и гумусовыми соединениями того или иного горизонта согласно изотерме сорбции и кинетике сорбционного процесса. Миграционная функция из-за неоднородного сложения профилей почв и пестроты почвенного покрова в пределах ЭПА и экосистемы будет иметь разрывы в изучаемой области, а в некоторых точках вообще может быть неопределенной. Результирующий вектор скорости миграции V массы мигранта (ВОВ) в почвах тайги заметно дифференцирован в горизонтальном и вертикальном направлениях и зависит также от состояния, структуры и функционирования экосистем. Отмеченные показатели очень трудно поддаются математической формулировке и их должен задавать почвовед-эколог.

Таких параметров все еще крайне мало, поэтому нужно накапливать фактическую информацию о путях миграции ВОВ и анализировать составляющие уравнения (33) для нахождения полной производной перераспределения мигранта g в конкретном пространстве ЭПА и оценки «поля миграции» ВОВ, например, вида миграционной функции.

8.7.2. Средняя линейная скорость водной миграции

Миграционный поток веществ складывается из вертикального нисходящего, бокового внутрипочвенного (по гор. EL_g или контактному слою в почвах с двучленным сложением профиля), поверхностного и вертикального восходящего компонентов (А.Д. Фокин, 1975; И.М. Яшин, 1993). Характер и соотношение потоков миграции различных мобильных соединений зависят от генезиса почв, их сложения и гранулометрического состава, рельефа и гидрологии территории.

Почвы легкого гранулометрического состава характеризуются фронтальным сорбционно-десорбционным процессом абиогенной миграции, обуславливающим элювиально-иллювиальное перераспределение миграционных форм веществ в профиле почвы. Вертикальный нисходящий перенос веществ в суглинках имеет размытый – диффузный характер с локализацией элюируемого материала по трещинам в иллювиальных горизонтах.

Наряду с активным миграционным перераспределением продуктов почвообразования в профиле таежных почв по типу фронтального переноса наблюдается также и быстрый проскок веществ, которому способствуют

единовременное обилие выпавших атмосферных осадков, не полностью оттаявшая почва, наличие сети почвенных трещин, ходов корней.

Для уточнения процессов современного почвообразования важно иметь фактические данные не только о количестве (масштабе) мигрирующих веществ через площадь, определяемую лизиметром за конкретный промежуток времени, но и *среднюю скорость, а также пути (траектории) потоков миграции веществ* в почвенном профиле. Мигрирующие в почвенном профиле водорастворимые соединения находятся в состоянии непрерывного обменного (сорбционно-десорбционного) взаимодействия. Поэтому средняя линейная скорость вертикального нисходящего перемещения химического соединения будет меньше скорости переноса носителя – гравитационной воды. Значит, путь, пройденный теми или иными водорастворимыми веществами, будет меньше, чем путь воды (носителя) за определенный промежуток времени.

В почвоведении пока нет универсальной величины, которая бы позволяла оценить среднюю скорость миграции водорастворимых соединений в профиле почвы. Опираясь на положения теории динамики сорбции и хроматографии, А.Д. Фокин (1975) предложил ввести в качестве меры миграционной активности вещества в почве показатель R_f по аналогии с параметром, используемым в бумажной распределительной хроматографии:

$$R_f = \frac{v}{u}, \quad (10)$$

где R_f – безразмерная величина, характеризующая миграционную способность водорастворимого соединения, изменяется от 0 до 1; v – средняя линейная скорость перемещения изучаемого вещества в почве, см/год; u – средняя линейная скорость потока воды в образцах почвы известного гранулометрического состава, см/год. Величина R_f устанавливается экспериментально или путем измерения скоростей, или путем оценки переноса водорастворимых веществ и воды в почве (в натуре и в лабораторном модельном опыте).

Используют также расчетный метод, основанный на определении распределительного отношения h (В.В. Рачинский, 1981):

$$h = \frac{n_o}{N_o}, \quad (11)$$

где n_o – масса исследуемого вещества в жидкой фазе, г, находится из выражения $n_o = c_o \cdot v$ (г/л · л = г); N_o – содержание вещества в твердой фазе, г/см, находится из соотношения $N_o = L$ (см/с) · s_o (г/г); L – линейная плотность образца почвы или сорбента в колонке; s_o – сорбционная емкость (почвы, сорбента), которая выявляется по изотерме сорбции.

Здесь важное место отводится сорбционным явлениям, в частности, получению в лаборатории изотермы сорбции того или иного вещества, а также изучению кинетики и динамики сорбционного процесса: установлению времени сорбционного равновесия и распределения вещества по слою сорбента.

Пример: скорость миграции носителя (воды) в гор. A_2 и A_2B сильноподзолистой среднесуглинистой почвы и составляет 42 см/год.

Находят параметры выражения (11) на основании сорбционных исследований. Так, линейную плотность образца (г/см) в хроматографической колонке определяют из соотношения плотности почвы (г/см³) и рабочей площади сечения колонки (см²).

Параметр n_0 равен 40,5 мг углерода ВОВ, поскольку через хроматографическую колонку пропускали 0,5 л раствора с концентрацией C_0 , равной 0,081 г/л углерода ВОВ. Параметр N_0 составляет 23,1 мг/см, исходя из линейной плотности изучаемого образца ($L = 2,6$ г/см) и сорбционной емкости ($s_0 = 8,9$ мг/г) сорбента. Найдя распределительное отношение h , равное 1,75, определяют величину $v - 26,7$ см/год. Искомый параметр R_f составляет 0,64, что свидетельствует о заметной миграционной активности компонентов ВОВ в почве. *При этом комплексные соединения Fe, Mn, Al и ионы других металлов с компонентами ВОВ (полифенолами, органическими кислотами и фульвокислотами) мигрируют в почвах без их разрушения. Разрушаются только гетерополярные соли органических кислот с ионами металлов (они часто выпадают в осадок, образуя бурые примазки).*

8.7.3. Оценка коэффициента водной миграции $k_{миг}$

Еще в 1917 г. американский ученый Смит разработал метод количественной оценки интенсивности водной миграции ряда химических элементов в ландшафтах. Его методический подход основывался на учете соотношений среднего состава речных вод с химическим составом горных пород. В дальнейшем Б.Б. Полюнов (1956) развил идеи Смита и обосновал хорошо известные специалистам-почвоведом, геохимикам и ландшафтоведам *ряды миграции* химических элементов. На основе этих изысканий А.И. Перельман (1975) предложил формулу расчета *коэффициента водной миграции того или иного элемента $k_{миг}$* в реальном ландшафте. Автор полагает, что интенсивность миграции конкретного химического элемента в том или ином ландшафте можно охарактеризовать с помощью соотношения этого элемента в природных водах и горных породах (с учетом Кларка, % оксида элемента). В одной из работ А.И. Перельман отмечал, что определять $k_{миг}$ можно как по «Кларку» в литосфере, так и по валовому содержанию элемента в почве, почвообразующей породе.

Рассмотрим этот методический подход на примере авторских стационарных исследований в бассейне р. Мезени (И.М. Яшин, В.С. Кащенко, 1984), табл. 22.

Об интенсивности миграции того или иного химического элемента *нельзя судить по его концентрации в природных водах* (речных, лизиметрических, грунтовых, озерных). Концентрационный параметр (мг/л) отражает главным образом своеобразие мобилизации и устойчивость химического элемента при миграции.

Фактические данные по абиогенной миграции железа и кремния в автономной глеево-подзолистой супесчаной почве свидетельствуют, что масштаб выноса кремния на порядок больше, чем железа по всем изученным генетическим горизонтам. Следует ли из этого, что кремний более энергичный мигрант, чем железо в условиях крайне северотаежных ландшафтов? Судя по концентрации в лизиметрических водах, кремний

Таблица 22

Параметры оценки интенсивности абиогенной миграции **Si** (числитель) и **Fe** (знаменатель) в лесной глееподзолистой супесчаной почве бассейна р. Мезени (И.М. Яшин, 1993).

Горизонт и его мощность, см	Масса слоя почвы, кг/м ²	Запасы в слое, кг/м ²	Валовое содержание, %	Масштаб миграции, г/м ² за 1 год	k_{миг} по Перельману
EL _г 24	360,0	$\frac{315,4}{1,94}$	$\frac{87,6}{0,54}$	$\frac{3,4 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,1 \cdot 10^{-5}}{1,6 \cdot 10^{-4}}$
EL/B _г 23	382,0	$\frac{340,4}{3,17}$	$\frac{89,1}{0,83}$	$\frac{3,1 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{9,1 \cdot 10^{-6}}{9,2 \cdot 10^{-5}}$
B _г 30	504,0	$\frac{444,5}{4,89}$	$\frac{88,2}{0,97}$	$\frac{3,1 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{7,0 \cdot 10^{-6}}{6,3 \cdot 10^{-5}}$

Примечание. Сорбент – оксид алюминия для хроматографии: 2 слоя по 1,5 см.

активнее мобилизуется в раствор, чем железо. Но Кларк кремния в этой почве 86%, и он существенно больше, чем у железа (1,4% Fe₂O₃). По формуле А.И. Перельмана (1975) можно рассчитать коэффициент водной миграции кремния и железа:

$$k_{\text{миг}} = \frac{m \cdot 100}{a \cdot n}, \quad (12)$$

где **m** – концентрация элемента в природном растворе (лизиметрических водах), г/л;

a – сумма минеральных веществ, растворенных в воде, г/л, (сухой остаток);

n – среднее валовое содержание элемента в генетических горизонтах (в почве), % (в форме оксида; для Fe, например, 4,5% Fe₂O₃);

100 – переводной коэффициент.

Подставив экспериментальные данные (Si – 0,200, Fe – 0,003, m – 0,015 г/л), получил $k_{\text{Si}} = 0,09$, и $k_{\text{Fe}} = 1,07$, т.е. интенсивность водной миграции Fe по профилю супесчаной глееподзолистой почвы на порядок выше, чем у кремния, хотя содержание последнего в водном растворе значительно больше.

При расчетах значения **k_{миг}** в компонентах таежных ландшафтов целесообразно сопоставлять не концентрации химических элементов, а их массы как в жидкой, так и в твердой фазах почвы (табл.23).

Для этого опытным путем определяют среднее значение m по сезонам года и умножают его на среднегодовой расход воды, исходя из объекта изысканий: генетический горизонт, ручей, река, поверхностный сток.

Перспективно использовать сведения о масштабе миграции вещества ($\text{кг}/\text{м}^2$), полученные методом сорбционных лизиметров. Преобразуют и показатель n с учетом реальной массы изучаемого слоя породы, почвы и др. Полученная размерность m ($\text{кг}/\text{м}^2$) удобна при дальнейших расчетах, в которых используются результаты лизиметрических наблюдений.

Расчитанные коэффициенты интенсивности водной миграции Si и Fe, находящихся в ионно-молекулярном состоянии, свидетельствуют, с одной стороны, о слабой трансформации веществ глееподзолистой почвы в условиях северной тайги, более высокой миграционной активности Fe, нежели Si, а с другой – о важной и своеобразной роли ВОВ и оглеения во внутрипочвенном (очевидно, диффузионном) перераспределении продуктов почвообразования).

Интенсивность водной миграции изучаемых элементов в таежных ландшафтах Архангельской области довольно неоднозначна. Спектр величин коэффициента миграции $k_{\text{миг}}$ варьирует от десятых долей и нескольких единиц для Fe до десятков для Mn, Cu и Pb. Скорость водной миграции существенно зависит от типа геохимического ландшафта, генезиса почв, химического состава почвообразующих и водовмещающих пород и характера водосборной территории. На геохимических барьерах (сорбционном, карбонатном, солевом и других) интенсивность миграции элементов заметно уменьшается, а в ландшафтах с урочищами болот, болотно-подзолистых и дерново-перегнойных глеевых почв существенно возрастает (например, болотные массивы в пойме р. Нименьги Архангельской области).

Миграция веществ в почвах, экосистемах и ландшафтах обусловлена не только гравитационными и латеральными потоками влаги и растворенных химических соединений, диффузией, но и функционированием взаимосвязанных групп живых организмов – аллелопатическими взаимодействиями. Вот некоторые сведения о свойствах ВОВ. Согласно исследованиям Аристовской Т.В. (1965) **плесневые грибы родов *Penicillium* и *Mucor***, выделенные из подзолистых почв, при дефиците в питательной среде Ca^{2+} , Mg^{2+} , и K^+ в течение нескольких суток продуцируют в раствор до 2-х литров 0,02 н. лимонной кислоты на 1 г сухой пленки (мицелия). Автор констатирует, что кислотообразование в условиях бедности среды элементами питания и кальцием играет большую адаптивную роль для микроорганизмов таёжных экосистем.

Продукты метаболизма грибов *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., *Ps. fluorescens* — как показали вегетационные опыты Александровой И.В. (1972) — при концентрации $5 \cdot 10^{-4}\%$ углерода оказывали положительное влияние на рост корневой системы пшеницы. Длина корней в вариантах опыта в 1,2-4 раза превышала таковую в контроле. В опытах Благовещенского А.В. с соавт. (1959) выявлено положительное влияние низких концентраций (10^{-4}) янтарной, фумаровой и других дикарбоновых органических кислот на энергию прорастания семян, продуктивность растений и качество урожая.

Особенно интересные данные были получены с янтарной кислотой. Последние, как известно, определяют характер биогенного круговорота химических веществ.

В сравнении с глееподзолистыми почвами *северотаежных ландшафтов Архангельской области* (бассейн нижнего течения р. Мезени, элювиальные ЭГЛ) в лесных *среднетаежных почвах Карелии* (заповедник «Кивач») величина $k_{\text{миг}}$ железа существенно выше, достигая максимума в песчаных иллювиально-гумусово-железистых подзолах. Несмотря на более высокие концентрации ионов Al^{3+} в исследуемых почвах Карелии, $k_{\text{миг}}$ заметно больше у железа (табл. 23).

Таблица 23

Табл. 23. Параметры оценки годовой скорости абиогенной миграции ионов Fe и Al в некоторых почвах Карелии (стационар в заповеднике «Кивач»), И.М. Яшин, 1993.

Генетический горизонт, глубина установки колонок, см	Сухой остаток, г/л	Концентрация* в растворе, мг/л		Валовое содержание в почве, %		$k_{\text{миг}}$ по А.И. Перельману (1975)	
		Fe^{3+}	Al^{3+}	Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe^{3+}	Al^{3+}
Разрез 11. Почва – слабоподзолистая поверхностно-глееватая тяжелосуглинистая (псевдоподзолистая) на ленточных глинах. Парцелла: ельник-черничник зеленомошный; правый берег реки Суна (через мост напротив конторы).							
A_0 2	0,419	5,8	6,9	7,2	15,9	0,19	0,10
A_1/ELg 10	0,287	3,7	3,7	5,5	18,9	0,23	0,07
EL/B_g 29	0,314	0,9	3,5	5,1	18,0	0,06	0,06
Разрез 81. Почва – подзол маломощный иллювиально-гумусово-железистый песчаный. Сосняк-беломошник («Вороновский бор»).							
A_0^r 8	0,347	6,0	8,7	6,5	14,0	0,2	0,18
$A_2(\text{EL})$ 25	0,294	4,5	7,0	0,8	9,1	1,92	0,26

*После разрушения **ВОВ**; катионы Fe^{3+} и Al^{3+} определяли в растворе после просасывания исходного почвенного раствора через свечу Шамберлена.

Биохимическая роль указанных органических компонентов **ВОВ** различна. Одни из них, например, *моносахариды* служат источником энергии и пищи ризосферной микрофлоры и через продукты метаболизма оказывают заметное влияние на рост растений. Другие, в частности *органические кислоты*, способствуют переводу труднорастворимых форм элементов питания в усвояемые соединения (Самцевич С.А., 1968). О важной роли органических веществ *фенольного характера* свидетельствует тот факт, что в живых растениях при фотосинтезе наблюдается активное формирование не только сахаров, но и **фенольных продуктов** (Запрометов М.Н. с соавт., 1986).

По мнению ряда авторов вещества полифенольного характера играют важную роль в гумусообразовании (Кауричев И.С., 1965; Орлов Д.С., 1974; Тейт Р., 1991). Гродзинский А.М. (1965) и Берестецкий О.А. с соавт. (1984) считают, что накопление в почве промежуточных продуктов трансформации растительных остатков, в частности фенольных компонентов, вызывает микробиологическое «почвоутомление» в агроценозах. Есть сведения, что фенольные соединения в почвах агроландшафтов (при использовании азотных туков) способствуют формированию нитрофенолов, которые угнетают развитие многих культурных растений. Данное явление известно как

«нитрофенольная токсичность почв» (Райс С., 1978). Для почв агроландшафтов оно играет несомненно весьма важную роль. Причем, особенно токсичными оказываются свободные формы фенолкарбоновых кислот, выделяемых из почв в лабораторных условиях путем щелочного или кислотного гидролиза. «Наибольшая концентрация — как показали опыты Э. Райса — отмечена для п-кумаровой и феруловой кислот (14,4 и 7,6 мг на 1 кг мульчированной почвы).

В составе гумусовых веществ обнаружены различные физиологически активные вещества, положительно влияющие на рост и развитие высших растений. В этой связи необходимо отметить интересные и оригинальные работы Фокина А.Д. (1975), Карпухин А.И. (1980, 1986, 1990) и Черникова В.А. (1986).

Были охарактеризованы функции комплексных органоминеральных соединений в почве. Среди них отмечен, так называемый «рН»-эффект. Он характеризуется дополнительной мобилизацией в раствор ионов H^+ вследствие реакций комплексообразования катионов металлов (прежде всего ионов железа, марганца, алюминия и иных) с компонентами ВОВ — органическими кислотами и фульвокислотами. Здесь важно правильно выбрать объект исследования. В этой связи наблюдения следует осуществлять в разных экосистемах и ландшафтах, включая и биосферные заповедники.

Почвы и ландшафты заповедников вполне можно использовать для фонового мониторинга, диагностики фульвокислот и водной миграции ВОВ.

К рассмотрению генезиса почв, их экологических функций и состояния в Центрально-лесном заповеднике Тверской области мы и переходим (рис. 42).



Рис. 42. Профессора кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – **И.М. Яшин** (на переднем плане) и **И.И. Васнев** в ЦЛГПБЗ направляются на одну из фоновых стационарных площадок для изучения газообразных и жидких углеродсодержащих компонентов в лесных фациях с помощью прибора **Li-COR** и сорбционных лизиметров (фото асп. Дмитрия Грачева, май 2011).

8.8. Почвы Центрально-лесного биосферного заповедника Тверской области

В данном разделе рассмотрены фактические данные о морфологии, физико-химических свойствах, водной миграции органических лигандов и ионов тяжелых металлов в дерново-подзолах на двучленных породах лесных экосистем Центрально-лесного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ) в Тверской области. Эколого-геохимические изыскания *в режиме фонового и оперативного мониторинга* проводятся авторами в ландшафтах ЦЛГПБЗ, а также в Карелии и Архангельской области в соответствии с научными грантами РФФИ 2002-2004 гг. и с 2011 г. по н.в.¹³

Схема проезда в ЦЛГПБЗ из Москвы представлен на рис. 42а. В настоящее время трасса М-9 находится в отличном состоянии. Время в пути сократилось до 5 часов (362 км с остановками). Добраться до заповедника можно с пересадкой в г. Нелидово на автобусе и по железной дороге, что неудобно. Научные исследования в ЦЛГПБЗ строго регламентированы по договорам. Выход в лес научных сотрудников также строго контролируется, поскольку в лесных фациях обитают медведи, волки и рыси. Проживание в комфортной гостинице стоит 600 рублей в сутки. Поверхностные воды здесь заметно **ожелезнены**, что связано с очень активной миграцией соединений железа.

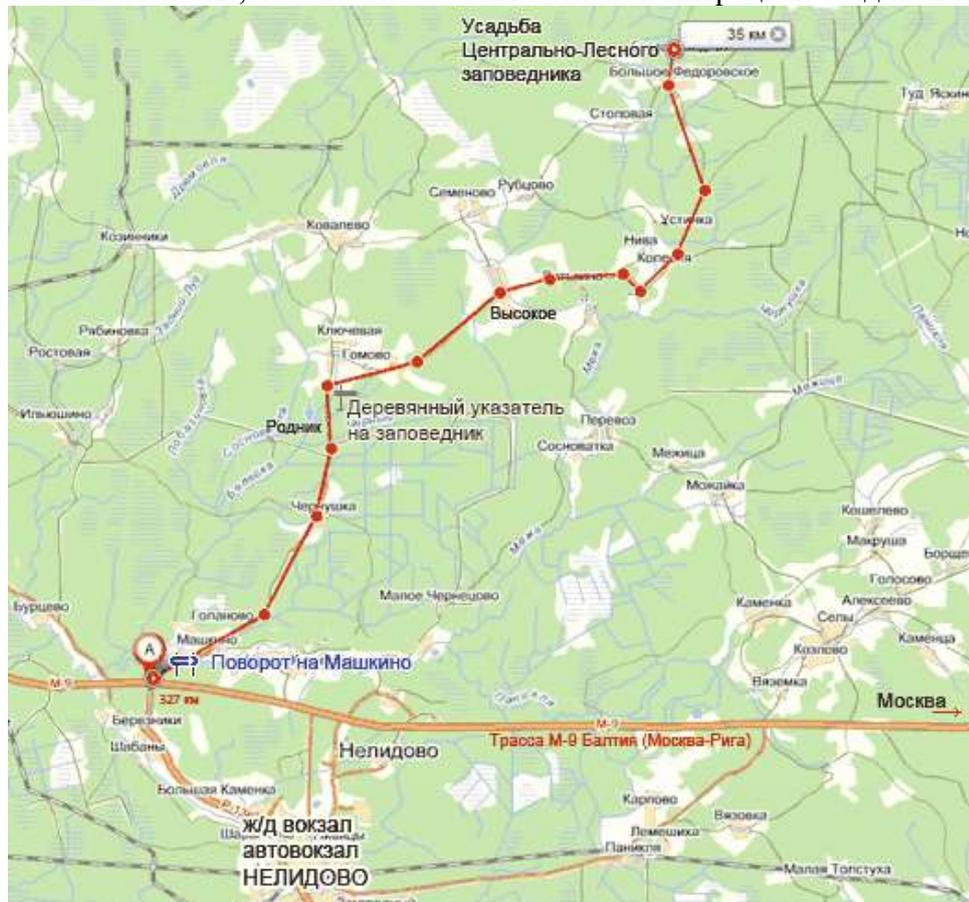


Рис. 42а. Схема проезда в ЦЛГПБЗ из Москвы (фото И.М. Яшина, 2011).

Генезис почв ЦЛГПБЗ изучается с 30-х годов прошлого столетия. Большой вклад в познание почвенного покрова, свойств и режимов почв заповедника внесли специалисты Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, МГУ

им. М.В. Ломоносова, Института Географии РАН, Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцева РАН, сотрудники заповедника и др. С 2011 г. в ЦЛГПБЗ почвенно-экологические изыскания проводят специалисты, аспиранты и магистры кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, в том числе и по научным грантам: эмиссия CO₂, динамика почвообразовательных процессов и другим. Важное место отводится *экологической оценке почв ЦЛГПБЗ*. Она сопряжена, в частности, с диагнос-



А

В

Рис.43. А - стационарная площадка в ЦЛГПБЗ («старая вышка» кв.93 – *плакор увала*): парцелла ельника-сфагнового (микрозападина) в фации ельника-кисличника сложного на подзоле контактно-глееватом, сформировавшимся на двучленах – р. 4я (В): здесь очень много валежника и свежих вывалов древостоя, а ельник имеет низкий бонитет 1Va (почти как в северной тайге). *Почвенный покров трансформирован*: в этой связи быстро найти ненарушенный профиль почвы было довольно сложно (фото Яшин И.М., 20.07.2013).



А

В

Рис. 44. А – один из экологических маршрутов в ЦЛГПБЗ через пойму р. Межа в сторону стационара «Старая вышка»; экскурсии в лесных фациях заповедника проводятся только по специальным мосткам и маршрутам: это позволяет сохранять лесную подстилку, не повреждать биоту, не тревожить диких зверей; В - профиль пойменной торфяно-глеевой почвы (р. 3я) со слоями оглеенного **аллювия** и **торфа в пойме р. Межа** (выкопан слева от межевого столба кв. 94 в 20 м), верховодка появляется на глубине 37-43 см, быстро заполняет шурф, затрудняя его более глубокую проходку (фото Яшин И.М., 19.07.2013).

тикой кислотности, водной миграцией и трансформацией веществ (и загрязнителей - ионов тяжелых металлов - ТМ). При этом тяжелые металлы загрязняют биоту, воды и гумусовые вещества *не только антропогенным путем*. Источниками ТМ в лесных фациях могут быть *почвообразующие и подстилающие породы*, сравнительно быстро достигающие дневной поверхности, например, *при ветровалах*. Последние были отмечены в 1987, 1996 и 2010 годах. Несмотря на большой фактический материал, еще неполно раскрыт генезис почв с двучленным сложением профиля, нет фактических данных о масштабах миграции веществ в дерново-подзолах на двучленах, не изучены барьеры миграции почв ЦЛГПБЗ.

Стационарные площадки в лесных южно-таежных фациях ЦЛГПБЗ (рис. 45-47). ЦЛГПБЗ расположен на водоразделе крупных рек Русской равнины: Волги, Днепра и Западной Двины. Занимает территорию с координатами (56⁰26' - 56⁰31') с.ш. и (32⁰29' - 33⁰29') в.д. Абсолютные отметки варьируют от 110 до 235 м над у.м. Коренные породы – известняки. Они покрыты четвертичными отложениями: моренной, водноледниковыми и покровными суглинками. Широко распространены двучленные породы. Для двучленов характерна *резкая смена гранулометрического состава* (в пределах первого метра) через одну или две градации, например, супеси на глубине 47-63см подстилаются моренным тяжелым суглинком – водоупором, создающим устойчивое сезонное переувлажнение всего профиля, см. рис. 46, А-D. На контакте пород – белесо-сизый элювиально-оглеенный слой.

Среди древесных пород преобладают еловые леса (примерно 40% площади заповедника), сосновые леса занимают небольшие участки. Луга представлена как пойменными, так и суходольными фациями. Много болот, которые не только служат истоками многих рек, но и обуславливают их гидрохимический состав (рис.47). Нередко болота формируются при

Таблица 24

Сезонная динамика физико-химических свойств дерново-подзола контактно-глеяватого на двучленах в 2011-2012 гг., ЦЛГПБЗ, кв. 96. Координаты: 56⁰28' с.ш. и 32⁰52' в.д.

Горизонт и глубина отбора образцов, см	pH _{KCl}	H _T	Поглощенные основания		Содержание частиц менее 0,01 мм, %	С _{орг} по Тюрину, %	Доступные формы, мг/кг	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺			H ₂ PO ₄ ⁻	K ⁺
мг · экв / 100 г								
Разрез 1я Парцелла ельника черничника разнотравного (отбор проб 21.05. 2011 г.)								
A ₀ /A ₁ 3-10*	3,0 ±0,5	21,4 ±4,7	1,0 ±0,2	0,1 ±0,0	18,3	2,7 ±0,8	200 ±5	121 ±7
Eh _g 20-30	3,5 ±0,7	12,5 ±2,3	0,4 ±0,1	0,04 ±0,0	16,4	1,4 ±0,5	8 ±2	78 ±4
B _{гп} 32-39	3,9 ±0,4	6,8 ±1,7	0,3 ±0,1	0,02 ±0,0	19,5	0,8 ±0,3	29 ±3	47 ±3
EL _g 39-49	4,0 ±0,3	4,4 ±0,4	0,5 ±0,2	0,04 ±0,0	30,9	0,5 ±0,2	100 ±8	25 ±2
B _{2g} 52-62	3,5 ±0,4	5,0 ±0,3	3,30 ±0,8	0,7 ±0,1	44,7	0,4 ±0,1	234 ±11	47 ±3
Разрез 1я Парцелла ельника черничника разнотравного (отбор проб 30.09. 2011 г.)								
A ₀ /A ₁ 1-9	3,2 ±0,9	24,2 ±5,3	4,3 ±1,5	1,4 ±0,7	17,1	3,0 ±0,9	89 ±8	59 ±7
Eh 9-17	3,4 ±0,8	16,9 ±3,6	0,7 ±0,4	0,3 ±0,1	15,6	2,3 ±1,1	5 ±1	55 ±3
B _{гп} 17-27	4,1 ±0,4	5,6 ±1,7	0,6 ±0,2	0,2 ±0,0	19,0	0,7 ±0,5	23 ±3	28 ±2
EL _g 45-55	4,0 ±0,3	2,8 ±0,9	1,0 ±0,5	0,3 ±0,0	32,7	0,4 ±0,1	95 ±8	24 ±2
B _{2g} 67-77	3,5 ±0,3	4,5 ±0,2	2,8 ±0,8	0,8 ±0,4	43,4	0,3 ±0,0	165 ±9	44 ±5
Разрез 1я Парцелла ельника черничника разнотравного (отбор проб 28.07. 2012 г.)								
A ₀ /A ₁ 2-10	2,9 ±0,3	22,9 ±0,3	0,90 ±0,1	0,12 ±0,0	-	3,3 ±0,6	123 ±5	283 ±7
Eh 20-30	3,0 ±0,2	13,0 ±0,1	0,40 ±0,1	0,06 ±0,0	-	2,1 ±0,1	10 ±2	44 ±2
B _{гп} 32-38	3,4 ±0,4	3,4 ±0,2	0,30 ±0,0	0,03 ±0,0	-	1,6 ±0,1	87 ±5	18 ±2
EL _g 42-52	3,2 ±0,1	3,2 ±0,2	0,40 ±0,2	0,04 ±0,0	-	0,7 ±0,3	122 ±3	20 ±3

- В книге «Классификация почв России» (С. 101) индексы почвы даны так: АУ-Е-ВF-Е-D.

зарастании озер. Вообще болота играют важную роль в ландшафтах. Рассмотрим морфологию почвы стационарного участка кв. 96 (район д. Красное, в 4,5 км на С-С-В от пос. Заповедный): рис 45. Плакор холмисто-увалистой мореной равнины. Фация ельника-черничника. Микрорельеф –



Рис. 45. А – кв. 96 (недалеко от д. Красное), фация ельника-черничника - асп. Д. Грачев изучает профиль дерново-подзола (21.05.2011); В – проф. И.М. Яшин выбирает места закладки колонок в профиле р.1я - D; С – для сравнения профиль р.2я дерново-подзола на двучленах, заложенный на опушке леса (залежь) вблизи гостиницы заповедника: во всех профилях четко заметна подстилающая бескарбонатная красно-бурая морена на глубине **47-63 см**; D - крупный план профиля В: здесь элювиальный и иллювиально-железистый горизонты завуалированы компонентами ВОВ, а контактно-осветленный горизонт углубляется в тяжелый красно-бурый суглинок «заклинками» (30.09.2011); после таяния снега и активной водной миграции ВОВ элювиальный горизонт становится белесым – «очищается» от соединений Fe (ВОВ биodeградируют); образно говоря, мини подзол «раздевается» и «одевается» под воздействием ВОВ и Fe(OH)₃ (см. фото 46,С, сделанное 26 июня 2015).

мелко-бугристо-западинный. Много валежа, вывалов, редко сломанные стволы деревьев. Прикомлевая часть спелых елей повсеместно покрыта мхами, на ветвях много эпифитных лишайников (рис. 45, А). Это косвенно указывает на чистоту атмосферного воздуха, отсутствие «кислотных

дождей». Черника распространена куртинами, хорошо развитая. Выбрать ненарушенный почвенный профиль довольно сложно.

Выбираем точку около ствола зрелой ели (возраст примерно 120 лет).

Таблица 25

Динамика валового содержания ТМ в дерново-подзолах контактно-глееватых на двучленах ЦЛГПБЗ в 2011-2012 гг., мг/кг

Отбор образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Разрез 1я Плакор, фация ельника-черничника (отбор образцов почвы 30.09.2011 г.)					
A ₀ A ₁ 1-9	0,19±0,04	14,0±4,8	8,0±2,7	1,6±0,8	0,6±0,09
A _{1h} /E _h 9-17	0,09±0,02	6,8±1,9	15,6±4,4	1,7±0,9	2,1±0,2
B _{ггп} 17-27	0,20±0,06	6,7±2,1	19,5±5,3	1,9±0,7	3,1±0,4
EL'g 45-55	0,24±0,08	3,5±0,9	15,0±4,1	2,2±0,9	4,0±0,6
B _{2г} 67-77	0,13±0,02	3,3±0,8	20,1±6,8	5,0±1,4	5,9±0,8
Разрез 1я Плакор, фация ельника-черничника (отбор образцов почвы 28.07.2012 г.)					
A ₀ A ₁ 2-10	0,20±0,02	7,5±0,8	17,2±2,9	3,2±0,05	2,8±0,5
A _{1h} /E _h 20-30	0,11±0,04	5,8±1,5	0,6±0,02	2,3±0,04	2,3±0,5
B _{ггп} 32-38	0,11±0,02	3,8±0,4	0,8±0,02	2,6±0,04	1,6±0,8
EL'g 42-52	0,05±0,02	2,2±0,2	1,9±0,1	1,9±0,5	1,1±0,4

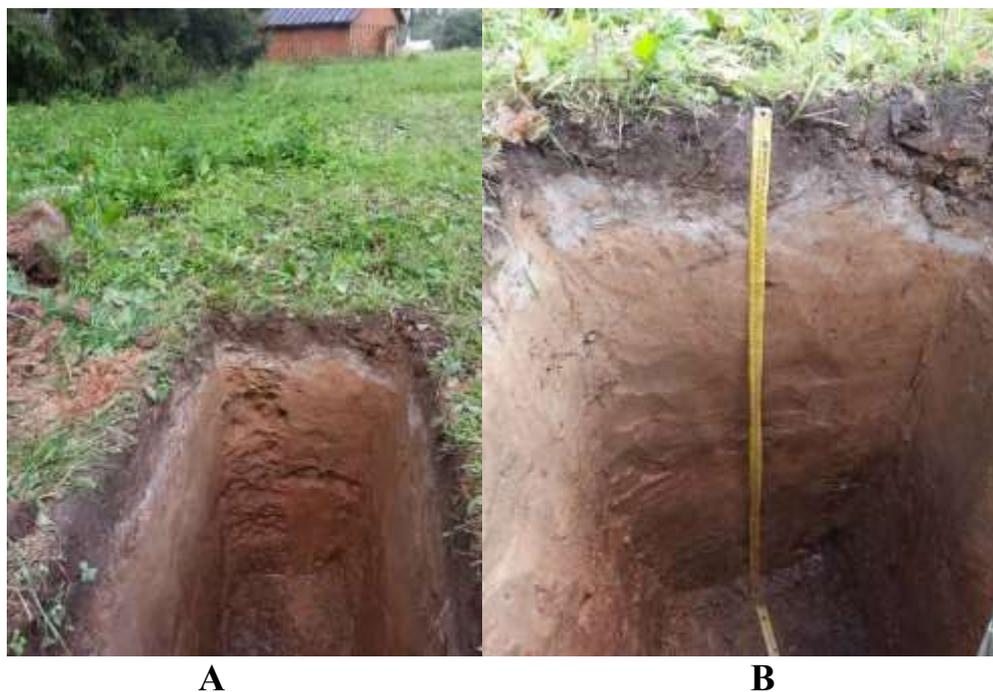


Рис. 46. Стационарная площадка в ЦЛГПБЗ на лугу (опушка ельника), **р.5я:** **А** – общий вид площадки и **В** – крупный план профиля данной почвы (вода сочится на контакте смены пород **с 43 см**, отсутствие древостоя способствует сезонному переувлажнению почвы и активной трансформации соединений железа (фото Яшин И.М., 21.07.2013).

Напочвенный растительный покров – куртины черники и пятнами гипновые мхи. **Разрез 1я** заложен в 2,3 м от ствола зрелой ели (рис. 45А,В,С).

A₀ – 0-1 см – слабо развитая, рыхлая лесная подстилка из веточек, хвои ели, локально гипновые мхи и листья березы, переход ясный;

A₀/A_{1hg} 1 – 9 (11) см – слабо развитый гумусово-аккумулятивный горизонт в верхней части обогащен органомным субстратом: влажный, светло-серый, пронизан крупными и



С

Д

С – сорбционные лизиметры в профиле той же почвы на лугу, что на рис. 46, но через 2 года. Под влиянием нисходящей миграции ВОВ и пульсации верховодки отмечена диффузионная трансформация конкреций и сезонное окрашивание подзолистого горизонта в красно-бурый цвет. **Д**- гидрозолы Fe(OH)₃ пульсируют снизу-вверх под защитой ВОВ, маскируя весь профиль – это проявление лессиважа. Образно говоря, это «раздевание» и «одевание» мелкозема одной и той же почвы гидрозольями Fe(OH)₃ с участием компонентов ВОВ в разные сезоны года. Это косвенно подтверждает данные о масштабной восходящей миграции ВОВ и соединений железа. Почва – дерновая поверхностно-глееватая лессивированная легкосуглинистая на двучленных отложениях (фото И.М. Яшина, 26.06.2015).

мелкими корнями, локально угольки, супесчаный, непрочно комковатый, слабо уплотненный, червей нет, переход постепенный;

E_h 9 (11) – 17 см – элювиальный горизонт - влажный, белесо-серый, непрочно комковато-плитчатый, слабо уплотненный, супесчаный, пропитан ВОВ до глубины залегания корней, редкие Fe-Mn конкреции, много мелких камней, переход заметный по цвету и плотности;

V_{itr} 17 – 37 см – трансформированный иллювиально-железистый горизонт компонентами ВОВ – сырой, супесчаный, липкий (заиленный), средне уплотненный, палевый со слабым серым оттенком, локально Fe-Mn темно-бурые мелкие и прочные конкреции, камни, переход ясный по цвету и плотности;

EL'g 37 – 56 см – контактно-осветленный (точнее контактно-глееватый) горизонт – сырой, плитчатый, белесый с палево-сизым оттенком, среднесуглинистый, очень плотный, щебень и камни, корни единичные, много Fe-Mn конкреций и бурых примазок по граням структурных отдельностей, переход «языковатый», мелкие «языки» - белесые;

V_{2g} 56 – 84 см – второй иллювиальный горизонт (сорбционный минеральный барьер миграции – водоупор) – сырой, красновато-бурый, очень плотный (до слитого), глыбистый, тяжелый суглинок, включения камней и щебня. Глубже проходка затруднена.

От 10% раствора HCL почва не вскипает по всему профилю. Грунтовые воды в конце мая 2011 г. находились на глубине 1,24 м, осенью 2011 – 2,5 м (при бурении).

Почва – дерново-подзол контактно-осветленный супесчаный на двучленных отложениях.



А

В

Рис. 47. При таянии снегового покрова (А) в лесных ландшафтах ЦЛГПБЗ компоненты ВОВ и Fe-органические комплексы (придающие ярко бурый цвет верховодке) мигрируют повсеместно; свойства почв как под кронами деревьев, так и в межкروновых пространствах объединяет латеральная миграция, поверхностный сток и элювиально-глеевая направленность почвообразования с участием кислотных компонентов ВОВ; летом (В) вода ручьев и мелких речушек, впадающих в р. Межа, имеет также ярко бурый цвет: ВОВ мобилизуются из опада и лесных подстилок подзолов, болотно-подзолистых почв и из торфов болот почти круглый год, определяя активную геохимическую миграцию Fe, Al, Si и состав речных вод таежных экосистем ЦЛГПБЗ (фото И.М. Яшина, 16.04.2012 и 20.07.2013).

Разрез 4я (рис. 43,В), площадка - «старая вышка» в 4 км на С от пос. Заповедный, кв. 95; лес – ельник-кисличник сложный с валежом и вывалами деревьев. Растительность и почвенный покров трансформированы после ураганов. Разрез заложен в западине со сфагновыми мхами (рис. 43,А).

A₀^T (O) – 0 - 4 см – очес из живых сфагновых мхов: рыхлый, мокрый, переход ясный;

A₀^{III} (O^{III}) – 4 – 7(9) см – торфяно-перегнойный: мокрый, темно-серый с бурым оттенком, при сжатии в ладони комка данного горизонта сочится вода бурого цвета, мажущийся, корней очень мало, рыхлый, крупные угольки, переход резкий;

E – 7(9) – 14(17) см – элювиальный горизонт (*транзитный барьер миграции*): сырой, ярко белесый, рыхлый, тонкозернистый песок, отмечены тонкие и косые серого цвета миграционные «тяги», выходящие из гор. A₀^{III} и заканчивающиеся в иллювиально-железистом горизонте; корни единичные, бесструктурный, через горизонт проходит «хвост» миграционной воронки, опускающийся в гор. ВС, переход постепенный;

B_{itr} – 14(17) – 28(31) см – трансформированный иллювиально-железистый горизонт (*сорбционный двусторонний барьер миграции*): влажный, палево-бурый, рыхлый, тонкозернистый песок с крупными белесыми «пятнами» - деградация Fe(OH)₃ – редко Fe-Mn конкреции, а вокруг них затеки Fe(OH)₃, переход заметный по плотности и цвету;

EL'g – 28(31) – 34(37) см – контактно-осветленный (точнее элювиально-оглеенный) горизонт: влажный, белесо-сизоватый, средне уплотненный, средний суглинок, комковато-плитчатый, редко ходы сгнивших корней, переход языковатый;

EL'g/B_{2g} - 34(37) – 41(44) см – переходный ко второму иллювиальному горизонту: сырой, белесо-красновато-бурый, плотный, липкий, плитчато-мелко глыбистый, тонкие поры, много Fe-Mn конкреций и примазок по граням педов, переход языковатый;

B_{2g} - 41(44) – 87 см – иллювиальный горизонт (*второй сорбционный барьер миграции* в профиле после иллювиально-железистого горизонта): красно-бурый, очень плотный, мелко глыбистый, тяжелый суглинок, мокрый, липкий, по граням педов белесые кутаны и бурые примазки, в этом горизонте отмечены редкие белесые пятна и «языки», опускающиеся из элювиального горизонта, редко камни, переход постепенный;

BC – 87- 112 см – горизонт переходный к почвообразующей породе (*сорбционный барьер миграции*): сырой, красно-бурый, очень плотный, тяжелосуглинистый, после дождей сочится вода с глубины 112 см.

От 10% раствора HCl почва *не вскипает по всему профилю*.

Почва – **подзол** иллювиально-железистый песчаный грунтово-глееватый на двучленных отложениях. В ближайшие годы почва трансформируется в **подзол глеевый**.

Подобные профили подзолов нами были выявлены и изучены на стационарах в *Архангельской области – Коношский и Няндомский районы в 60-80-х годах прошлого века*. Иногда такие почвы некорректно диагностируют их как «*белоподзолы*», «*белоземы*». Нужно учесть, что в этих почвах ярко выражена трансформация и водная миграция **соединений Fe**. Но все зависит от массы ВОВ с кислотными свойствами, мобилизуемыми в оторфованной лесной подстилке и мигрируемыми в подзоле. При перераспределении Fe-органических комплексных соединений в песчаном подзоле, *формируется хроматограмма мигрантов*, которая заметно изменяется по сезонам года. Изучение формы и масштаба миграции соединений Fe позволит решить данную генетическую задачу; здесь необходимы дальнейшие изыскания.

Нередко после вывалов ели близко к *дневной поверхности подходит иллювиальный красно-бурый горизонт*, трансформируемый новой лесной растительностью. При этом *элювиально-глеевый процесс почвообразования* (наряду с биогеохимическим круговоротом веществ) будет определять перераспределение продуктов почвообразования в новом профиле.

В этой связи интерес представляет *почва разреза 5я* на опушке леса под луговой растительностью. **Лесной дерново-подзол контактно-глееватый** на двучленах за несколько десятилетий на лугу трансформировался в *дерновую поверхностно-глееватую лессивированную почву на двучленах*. В профиле имеется развитый дерновый (гумусово-аккумулятивный горизонт мощностью 13-18см) и белесый **элювиально-глеевый** (14-16 см) горизонт (рис. 46, А-С). Из-за отсутствия древостоя *избыток внутрипочвенной влаги не удаляется в атмосферу, как в лесу*, а накапливается в почве и способствует активной трансформации соединений железа (с участием ВОВ), прокрашиванию в **ярко буро-красный цвет нижних генетических горизонтов V_{ftr}, EL'g, B_{2g}** и частичному выносу продуктов почвообразования в

грунтовые воды и местные базисы эрозии (вода в профиле сочится с глубины **43 см** – на контакте смены пород: супеси, легкого суглинка и тяжелого суглинка). Так происходит ожелезнение верховодки, родников и мелких речушек бассейна р. Межа. *Судя по растянутости буро-красного профиля и его оводненности*, в нем интенсивно выражены процессы *диффузии, лессиважа и водной миграции веществ*. Это почва находится в стадии активной эволюции, но называть ее «**бурозем**» неточно и некорректно.

Среди методов были использованы полевые и лабораторные методы почвенно-экологических изысканий. *В первой группе методов* для оценки функционально-генетической диагностики почв применяли маршрутный метод, «ключей», стационарный метод (в частности, метод сорбционных лизиметров) и закладку катен. Во второй группе ключевые участки выбирали на топокарте вдоль условной линии – от русла реки Межа (в южном направлении) через пойму, террасу к плакору.

При *лабораторных исследованиях* применялись традиционные химические и физико-химические аналоги, например, хроматография, ионометрия. Сорбционные лизиметры устанавливали в профиле на период с **30.09.2011 по 27.07.2012** гг. для оценки масштаба миграции ВОВ, уточнения их компонентного состава и учета водной миграции комплексных органоминеральных соединений и тяжелых металлов¹⁴.

Методика подготовки сорбентов, установка колонок в почву и иные методические вопросы изложены в авторских работах. Исследование морфологии и химических свойств (табл. 24) дерново-подзолов на двучленных породах позволило выявить их яркую сезонную динамику. Другой особенностью таких почв является резкая ненасыщенность гумуса и почвенных минералов ионами щелочноземельных оснований вследствие чего во все сроки наблюдений отмечена очень сильноокислая реакция среды и высокая гидролитическая кислотность по всему профилю. *Это связано с активной мобилизацией в раствор компонентов ВОВ с кислотными свойствами и комплексообразованием*. Вторичную (подчиненную) роль здесь играют ионы поливалентных металлов, мобилизуемые в почвенный раствор ВОВ. Динамика доступных форм фосфора и калия связана с биогеохимическим круговоротом веществ. Валовое содержание ТМ (Zn, Cu, Ni) в дерново-подзоле низкое, что обусловлено, по-видимому, функционированием барьеров миграции – горизонтов В, ВС и С на фоне очень слабого азротехногенного загрязнения. В то же время и такое незначительное содержание ТМ все же будет сказываться на *экологической безопасности ягод, грибов и природных вод*. Поскольку коэффициенты биогенного накопления у ионов ТМ очень высокие.

Сезонную динамику свойств подзолов обуславливают ВОВ, плесневые грибы-кислотообразователи, избыток влаги по микро западинам, а также трансформация и миграция соединений Fe, Al, Mn, Si. Особую роль в **вуализации профилей** песчано-супесчаных подзолов и дерново-подзолов

¹⁴ В этой работе участвовал аспиранты кафедры экологии Л.П. Когут, А.А. Пескарев и Д.А. Грачев.

играют соединения железа и ВОВ. Это наглядно заметно на рис.46(А-С) в дерновой поверхностно-глееватой лессивированной почве на двучленах под луговой растительностью, о чем было уже отмечено. Избыток влаги здесь сохраняется долго, способствуя трансформации соединений железа и почвенных минералов. Профили лесных дерново-подзолов на двучленах (рис.45, С) под древесной растительностью заметно **иссушены** вследствие транспирации хвойными породами и очень плотные с глубины 45-57 см. Здесь водная миграция веществ **наблюдается весной и осенью** (а также в дождливое лето). В зоне тайги (в частности, в подзонах средней и северной) **на вырубках** наблюдается **заболачивание**, а подзолы трансформируются сначала в подзолисто-глеевые почвы, а затем и в болотно-подзолистые. В подзоне **южной тайги на вырубках** с травянистой растительностью отмечено формирование **лугов** с дерново-подзолистыми почвами.

Возможен еще один вариант трансформации почв ЦЛГПБЗ на двучленах, в частности, при отсутствии ярко выраженного *элювиального горизонта* в профиле дерновой поверхностно-глееватой лессивированной почвы на двучленах (рис. 46,р.5я). В таком случае под гор. А₁ располагаются завуалированные гидрогелями Fe(OH)₃ горизонты **E_g, V_{ftt}, EL'g, B_{2g}, BCg и Cg**. Подобный однородно окрашенный профиль некоторые авторы именуют как *бурозем*, что, конечно же, противоречит процессу *буроземообразования*, характерному, например, для ландшафтов Карпат. Генезис буроземов связан с внутрпочвенным оглиниванием. *Вообще для почв с двучленным сложением профиля некорректно рассчитывать элювиально-иллювиальные коэффициенты подзолообразования*; параметры оценки водного баланса такой почвы в лесу могут быть ошибочными из-за латерального привноса воды и веществ. *Верхние слои минипodzola отличаются почти провальной фильтрацией, а контактно-осветленные и более глубокие – очень слабо сбрасывают избыток влаги, вызывая анаэробизис подзолов и дерново-подзолов на двучленах.*

Таблица 26

Масштаб водной миграции C_{орг} ВОВ, ионов микроэлементов, тяжелых металлов и кальция в дерново-подзоле контактно-осветленном на двучленах ЦЛГПБЗ (кв. 96); экспозиция 30.09.2011 – 25.07.2012 г.

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	По сорбции в колонках активированным углем (десорбция 1н. NaOH), мг/м ² за 289 сут.							
	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	C _{орг}
A ₀ /A ₁ 9	0,02	0,70	0,11	3,0	8,0	145,0	12,0	15626,9
E _{hg} 17	0,04	2,50	0,14	2,0	5,0	60,0	11,5	12638,1
V _{ftt} 27	0,25	1,63	0,07	8,6	23,4	483,0	21,0	9376,9
EL'g 55	0,03	2,80	0,15	2,7	6,2	165,0	4,9	5537,3
B _{2g} 77	0,07	0,90	0,11	0,6	6,2	96,0	7,9	4843,3
B _{2g} 87	0,04	6,78	0,25	5,6	54,5	523,0	18,9	1630,6

Таблица 27

Масштаб водной миграции $C_{орг}$ ВОВ, ионов микроэлементов, тяжелых металлов и кальция в дерново-подзоле контактно-осветленном ЦЛГПБЗ (кв. 96); экспозиция 30.09.2011 – 25.07.2012 г.

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	По сорбции катионитом КУ-2 (десорбция 0,1 н HNO ₃), мг/м ² за 289 сут.							
	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	C _{орг}
A ₀ /A ₁ - 9	0,08	0,20	0,4	1,0	0	40,0	1,7	5383,3
E _{hg} - 17	0,05	0,07	0,3	0,3	0	30,0	1,0	4753,7
V _{fir} - 27	0,01	0,03	0,2	1,0	2,0	53,0	0,3	4459,9
EL' _g - 55	0,03	0,12	0,5	0	0	27,0	0,3	7884,3
B _{2g} - 77	0,04	0,11	0,1	0	0	40,0	1,0	3391,8
B _{2g} - 87	0,09	0,14	0,3	0	0	170,0	2,0	3757,5

Экологическое направление в изучении почв учитывает как их сложение, свойства, так и биогеохимический круговорот органического углерода, формирование при фотосинтезе и гумификации низкомолекулярных органических кислот (НМОК), полифенолов и фульвокислот (ФК) с кислотными и иными свойствами на уровне экосистемы с участием плесневых грибов-кислотообразователей (*Penicillium* и иные).

В этой связи рассмотрим экспериментальный материал по миграции ВОВ, микроэлементов и ТМ в профиле дерново-подзола на двучленах (кв. 95).

Вынос ВОВ по органическому углероду ($C_{орг}$) наиболее эффективно изучать с помощью активированного угля в колонках (табл. 24-26). Катионит КУ-2 в H⁺ форме сорбировал небольшое количество компонентов ВОВ.

Таблица 28

Общий масштаб водной миграции $C_{орг}$ ВОВ, ионов микроэлементов, тяжелых металлов и кальция в дерново-подзоле контактно-глееватом на двучленах ЦЛГПБЗ (кв. 96); экспозиция 30.09.2011 – 25.07.2012 г.

Горизонт и глубина установки лизиметров, см	По сорбции сорбентами в колонках, мг/м ² за 289 сут.							
	Cd ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	C _{орг}
A ₀ /A ₁ - 9	1,0	2,3	1,5	4,0	8,0	185,0	13,7	21010,2
E _{hg} - 17	0,9	3,2	1,7	2,3	5,0	90,0	12,5	17391,8
V _{fir} - 27	2,6	2,0	0,9	9,6	25,4	536,0	21,4	13836,8
EL' _g - 55	0,6	4,0	2,0	2,7	6,2	191,0	5,2	13421,6
B _{2g} - 77	1,1	2,0	1,3	0,6	6,2	136,0	8,9	8235,1
B _{2g} - 87	1,3	8,2	2,8	5,6	54,5	693,0	20,9	5388,1

Характерно, что плотного водоупора гор. B_{2g} достигают заметные массы ВОВ – 5,4 г/м² за период опыта. Среди ТМ наибольшая миграция отмечена у соединений железа, максимум масштаба миграции которых установлен по сорбции в колонках активированным углем. Это комплексные Fe-

органические соединения; они при водной миграции в почве не разрушаются *в отличие от гетерополярных солей органических кислот*. На катионите КУ-2 в Н⁺ форме сорбируются оксигидраты металлов микроэлементов и ТМ с *положительным знаком заряда*. Масштаб их выноса небольшой, если сравнить с почвами лесопарка ЛОД (табл. 26-28).

Примечательно, что при нисходящей водной миграции у соединений *железа, цинка и меди* в дерново-подзолах на двучленах установлено *два максимума выноса*: из гор. иллювиально-железистого трансформируемого (B_{itr}) и иллювиального горизонта B_2 – водоупора. Во втором случае сорбционные лизиметры были заложены под одну из немногих магистральных трещин белесого цвета, уходящих до почвообразующей породы. По ней и происходил «сброс влаги и мигрантов». Подобное перераспределение не выявлено для компонентов ВОВ: отмечено резкое уменьшение их масштаба миграции за счет сорбции и биodeградации в супесчаном миниподзоле – с 21,0 г/м² из лесной подстилки до 8,2 г/м² из-под горизонта B_{2g} – в подстилающем водоупоре. Масштабы водной миграции соединений кадмия, свинца и никеля – низкие.

Кадмий был сорбирован в предыдущие циклы почвообразования на *иллювиально-железистом барьере миграции*, а в настоящее время отмечается небольшой вынос ионных форм Cd^{2+} в форме кадмийорганических соединений по сорбции на активированном угле и в форме положительно заряженных оксигидратов - по сорбции на катионите КУ-2. *Свинец и медь* мигрируют, главным образом, *в форме комплексных органоминеральных соединений* по сорбции в колонках активированным углем.

Использование *вакуумных лизиметров* для оценки концентрации ионов алюминия, железа, кремния в почвенных растворах и природных водах экосистем ЦЛГПБЗ может привести к артефактам. *Через керамическую мембрану вакуумного лизиметра проникают (как и через свечу Шамберлена) только ионы и молекулы*. *Коллоидные и тонкодисперсные формы металлов* налипают на поверхности керамической трубки, и *оказываются неучтенными*. Применение специалистами «*лизиметров-накопителей почвенной влаги*» в лесных подзолах также приводит к артефактам и ошибкам. Это «гравитационные лизиметры» Джона Дерома, напоминают воронки Эбермайера. В таких, образно говоря, «*почвенных аквариумах*» происходит активная *биodeградация ВОВ и органоминеральных соединений*. В результате в приемниках вод накапливаются *минеральные соли, газы, искажающие реальные формы и масштабы миграции железа, кальция, микроэлементов и ионов ТМ, а также ВОВ*. Последние частично образуют *темно-бурые сгустки*, прочно налипающие на стенки и дно приемных сосудов, отмыть которые удастся только концентрированным раствором щелочи или «хромпика». Подобный эффект мы наблюдали в конце августа **1967 году в Карелии**³⁾ после откачки лизиметрических вод в почвах, развитых на ленточных глинах; стационарная площадка располагалась на правом берегу р. Суна – в спелом ельнике-черничнике заповедника «Кивач»

возраста более 120 лет (*напротив моста через реку; в 80-х годах прошлого века этот мост и лоток для сплава древесины в обход водопада разрушили, а Музей природы и библиотека сгорели*). Лизиметрические воды были подобны «шипучке» - газированной воде в бутылке. Анализы показали, что в ней нет $C_{орг}$ ВОВ, хотя присутствовали соли - бикарбонаты, сульфаты, нитраты. Вода была бесцветной. Не исключено, что план данного опыта был согласован с И.С. Кауричевым для сравнения и оценки сорбционных лизиметров.

С 15.05. по 17.09. 1967 г. Яшин И.М. проходил учебную практику по почвоведению – после 3-го курса по рекомендации проф. И.С. Кауричева – в заповеднике «Кивач» в составе экспедиции Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева; руководитель – снс Е.Н. Руднева. В 1971-1972 гг. Яшин И.М. проводил здесь опыты с сорбционными лизиметрами в подзоле иллювиально-железистом и в псевдоподзолистой почве на ленточных глинах.



А

В

Рис.48. Установка сорбционных лизиметров: **А** – дипломница Елена Наумова завершила закладку колонок под оторфованной лесной подстилкой на стационаре в таежном лесопарке Петрозаводска (июль 2009); **В** – студентка 2-го курса РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Екатерина Подколзина закладывает сорбционные лизиметры в профиле дерново-слабоподзолистой грунтово-глееватой среднесуглинистой почвы на сенокосе, в западине (недалеко от небольшого пруда (Р.7). ОАО «Дружба» Ярославской области (июль 2015) – фото И.М. Яшина.

Уместно отметить, что лето 1967 года выдалось *необычное для Карелии*: было много солнечных дней, очень тепло и мало дождей, которые пошли лишь в августе. Поэтому почвенные разрезы глубиной порядка 2 метров и шириной 1,4 метра выкопать в плотных «как бетон» ленточных глинах стоило больших усилий и терпения. Но на этом наши трудности не закончились. Необходимо было для каждого лотка под генетическими горизонтами выпиливать ножовкой узкие щели. Затем устанавливались лотки

из жести, покрытые битумом; они соединялись со стеклянными 20-ти литровыми бутылками шлангами. Бутылки устанавливали на дно траншеи.

Завершалась установка подобных лизиметров («накопителей почвенной влаги») аккуратной засыпкой, утрамбовкой траншеи, и ее маскировкой. Конечно, сорбционные колонки устанавливать значительно проще и удобнее



Рис. 49. Дипломник кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Анна Щербаненко устанавливает в профиле почвы сорбционные лизиметры и изучает сезонную миграцию водорастворимых органических и органоминеральных соединений в фоновых фациях ЦЛГПБЗ в Тверской области (фото И.М. Яшина, 26.06.2015).

(но и здесь много работы – без мужской силы не обойтись). Главное, с помощью сорбции мигрантов на чистых сорбентах удастся избежать искажений при оценке формы миграции веществ (рис. 46,47). Кроме того, изучение сорбентов и водной миграции, уже само по себе, требует профессиональных знаний.

Выполнив лизиметрические опыты и получив новые результаты исследований, нужно оценить их достоверность и точность. Для этого существуют приемы математической обработки данных. Их и рассмотрим.

8.9. Математическая обработка результатов исследований (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 $\sigma^2 = \Sigma(x_1 - \bar{x})/n - 1$ 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

$$N_{\min} = \sigma^2 \cdot t^2 / \sigma_0^2 = K_B^2 \cdot t^2 / \Delta^2, \quad (13)$$

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 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:

$$x = (m_{\max} - m_{\min}): \bar{x} = (80 - 29): 52 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1} \quad (14)$$

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 – $m_2 = 23 \pm 0,6$. Прирост масштаба¹⁵ 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

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,6^2} = 0,78 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1} \quad (15)$$

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_o 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, $24,5 \pm 0,9$), 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 ; $124,3 \pm 1,2$; $12,4 \pm 0,1$; $1,24 \pm 0,01$. 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 экосистемах их нет, поскольку в пределах любой почвенной

¹⁵ Для однородной выборки; например для расчета природной и аналитической дисперсии признака в индивидуальном (не смешанном образце) в вертикальной или горизонтальной координатах почвенного покрова.

структуры ландшафта каждый элементарный почвенный ареал и разрез является типичным для ЭГЛ. 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 приравниваться 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.



Рис. 50. Студенты-экологи 205 группы факультета ПАЭ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на учебной практике по экологии определяют урожайность оз. пшеницы в **фазу молочно-восковой спелости** в транс аккумулятивном ЭГЛ акционерного общества «Дружба» Ярославской области; после чего проводят математическую обработку полученных результатов (фото И.М. Яшина, 2015).

9.0. **Водная миграция веществ в почвах Лесной опытной дачи и Полевой станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева московского мегаполиса**

В данном разделе рассмотрены результаты многолетних полевых опытов по водной миграции веществ на Полевой опытной станции и Лесной опытной даче (ЛОД) РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на территории города Москвы, ландшафты которого испытывают масштабную антропогенную нагрузку. **Антропогенез** заметно усиливает **экологические риски** в современный период, и пока характеризуются локальным химическим загрязнением почв *экосистем мегаполисов* ионами тяжелыми металлами, а также микотоксинами, нефтепродуктами, «кислотными дождями». В этой связи нами с 1979 г. на ЛОД проводится локальный *мониторинг эко-геохимического состояния почв, природных вод, биоты и оценка миграции* веществ по профилям почв на двучленах.

Географически территория ЛОД и Полевой опытной станции расположена на макро водоразделе рек Яузы и Москвы-реки с абсолютными отметками высот 165–175 м над у.м. Внутрипрофильную миграцию водорастворимых органических веществ (ВОВ) и ионов тяжелых металлов в почвах изучали с помощью МСЛ. Сорбенты: низкозольный

активированный уголь, размер частиц 0,25–0,1 мм, основной оксид алюминия для хроматографии, ионообменные синтетические смолы (катионит КУ-2 в H^+ форме и аниониты - полифункциональный ЭДЭ-10п и монофункциональный АВ-17 в OH^- форме). Сорбенты в колонках разделяли 2 см слоем, химически очищенного кварцевого песка по методике И.М. Яшина (рис.40). 10% раствор HCl малоэффективен, заметная часть соединений Fe остается в песке в форме труднорастворимых гидроксидов железа. Их можно удалить почти полностью только с помощью органических лигандов и щелочи по авторской методике в течение 3-5 суток.

Почвенно-экологическое картографирование почв нескольких фаций ЛОД в М 1:500, выполненное автором с аспирантами, показало, что на пестроту почвенного покрова большое влияние оказывают генезис почвообразующих пород, рельеф, ветровалы, вырубки, характер насаждений.

На Полевой опытной станции РГАУ-МСХА профили почв также трансформированы вследствие плантажной обработки почв и эрозии. В них отсутствуют некоторые горизонты лесной почвы – A_0 , A_0/A_1 , E_h , которые были припаханы и ухудшили агрономические свойства горизонта $A_{пах}$. Двучленное строение профилей почв, характерное для фаций ЛОД, включает верхний песчано-супесчаный (реже легкосуглинистый) верхний слой и тяжелосуглинистый нижний (на глубине 54-67 см), которые соприкасаются через четко выраженный и мощный контактно-глеевый ярко белесый горизонт EL'_g . На Полевой станции верхний легкосуглинистый (опесчаненный) слой менее мощный: контакт между кроющим и подстилающим слоями в почвах при двучленном сложении осуществляется на глубине 30-40 см, значит, часть этого слоя уже эродирована. В средней части склона этого же холма (в катене) в профиле почвы уже нет горизонта $E_h/B(g)$ – он припахан и его вещества ухудшают агроэкологические свойства гор. $A_{пах}$. Пахотный горизонт здесь уже менее



Рис. 51. 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).

мощный (21-23 см), и залегает на красновато-буром горизонте В – плотном водоупоре. В будущем, при эрозии, мелкозем горизонта А₁ будет эродирован в подошву склона, а к поверхности приблизится плотный красновато-бурый иллювиальный горизонт. На этом примере видно, что знание морфологии почв позволяет оценивать их экологическую безопасность на ближайшую перспективу.

Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв пахотного горизонта Полевой опытной станции (разрез 4) отличаются слабокислой реакцией среды (рН 5,1-5,5), невысокой гидролитической кислотностью (до 3,3 мг/экв. на 100 г почвы). Гумуса в минеральном субстрате немного – 0,8 - 1,3% по С_{орг}. Химические свойства горизонтов, залегающих глубже пахотного слоя, почти не отличаются от аналогов ЛОД. Групповой состав гумусовых веществ в разрезе 4 гор. А_{пах} (посев козлятника) по С_{орг} следующий: С_{орг} в почве – 1,4%; С_{орг} гуминовых веществ – 21,4% от С_{общ}; С_{орг} ФК – 43,9%; С_{орг} гумина – 34,7%. Отношение углерода гуминовых веществ (ГВ) к углероду ФК равно **0,48**. Это указывает на фульватный – мобильный состав гумуса. Следовательно, культура козлятника активно подкисляет почву за счет органических кислот и большой биомассы растений. В горизонте А_{пах} под

Таблица 29

Масштаб водной нисходящей миграции ВОВ и их компонентный состав в почвенно-геохимических катенах ЛОД.

Горизонт и глубина установки колонок, см	Объем воды в приемниках лизиметров, л	С _{орг} ВОВ, мг/л			Вынос С _{орг} ВОВ, г/м ² за 1 год	С _{орг} ИОВ в составе ВОВ, %	Сорбция и минерализация ВОВ гор. А ₁ , % к поступившему
		в приемниках вод	в водо-ацетоновом элюате угля (ИОВ)	в аммонийном элюате с угля (ФС)			
Стационарные площадки на ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева							
Парцелла – под кроной дуба. Квартал 13. Разрез 47: дерново-подзолистая легкосуглинистая на морене.							
Нижняя треть склона холма. Наблюдения 1 год.							
А ₀ (O), 3	1,54	2,9	417,4	95,8	38,6	81,3	---
А ₁ , 14	1,15	6,3	74,2	186,7	19,7	28,4	49,0
А ₁ /E _{lh} , 27	0,93	8,4	35,7	216,8	19,0	14,1	3,6
Парцелла – под кроной лиственницы. Квартал 7. Разрез 15Л. Дерново-подзол контактно-глееватый супесчаный, развитый на двучленных отложениях. Плакор холма. Наблюдения 1 год.							
А ₀ (O), 2	1,74	11,6	537,3	204,5	55,9	72,4	--
А ₁ /E _h , 15	1,43	8,8	204,2	371,9	43,4	35,4	22,4
E _{hg} , 28	0,84	15,6	114,8	227,3	25,7	33,6	40,8
Квартал 7. Разрез 15Л. Плакор холма. Наблюдения в период вегетации: с 05 июня по 21 сентября.							
А ₀ (O), 2	0,25	1,4	89,5	137,1	17,1	39,5	--
А ₁ /E _{hg} , 16	0,22	3,6	37,9	88,2	9,5	30,1	44,4
Квартал 7. Разрез 15Л. Плакор холма. Наблюдения в абиогенный период: 15 октября по 21 мая.							
А ₀ (O), 2	1,22	4,8	313,7	184,2	37,5	63,0	--
E _{hg} , 29	1,37	11,5	176,3	219,8	29,8	44,5	20,5
Квартал 7. Разрез 15Л. Плакор холма. Опыт по изучению восходящей миграции: с 15 октября по 21 мая.							
E _{hg} , 28	--	--	74,2	192,8	20,1	27,8	Возврат 53,6 %

Примечание. Сорбция ВОВ почвой отражает соотношение их масс на входе и выходе из генетического горизонта при миграции; заметная масса ВОВ при этом биодеградирует. Здесь, в принципе, и реализуется понятие «градиент барьера миграции».

клевером (разрез 1), содержание С_{орг} – 1,9%, доля углерода ГВ достигает 38,7%, а ФК - 34,6%; 26,7% – гумин. Отношение С_{ГВ}/С_{ФС} составляет **1,1**.

Гумусовые вещества под бобовыми многолетними травами имеют благоприятный фульватно-гуматный состав, а мелкозем пахотного горизонта почвы – водопропрочную зернисто-комковатую структуру. Химические свойства почв ЛОД. Величины pH_{KCl} верхних генетических горизонтов, определенные в августе, находились в пределах 3,0–4,4 и характеризовались сильнокислой реакцией. Подобная ситуация отмечена для всех 8-ми изученных профилей. Наиболее высокие значения pH_{KCl} обнаружены в гор. A_1/Eh_g , в глубь по профилю они незначительно уменьшаются. Высокая степень кислотности связана, на наш взгляд, с присутствием значительных масс ВОВ, фульвокислот, ионных форм соединений алюминия и марганца, а также сильных минеральных кислот, поступающих в виде «кислотных дождей». Значения гидрологической кислотности также высокие как в гор. A_1/Eh_g , так и в нижних – E_{hg} , EL/V_g : 3,7-6,4 мг-экв./100г. Почвы старовозрастных посадок лиственницы и сосны характеризуются более высокими значениями N_g (12,3-21,5 мг-экв./100г). Этот факт генетически связан с мобилизацией в раствор из опада, лесных подстилок и корневых выделений масс ВОВ с кислотными свойствами.

Установлено, что в верхних горизонтах почв ЛОД активно выражена нисходящая водная миграция ВОВ. Гор. E_h лесных супесчаных дерново-подзолов ЛОД сезонно пропитывается компонентами ВОВ, в частности, полифенолами и органно-минеральными соединениями Fe, Mn, придающими верхнему слою почти темно-серый цвет, а летом он часто некорректно диагностируется как гор. A_1 . Поэтому мы его называем как гор. A_1/E_h .

Таблица 30

Масштаб водной миграции ВОВ и их компонентный состав в дерново-подзолистых почвах на двучленах Полевой опытной станции РГАУ-МСХА за период май-сентябрь.

Глубина установки колонок, см	Кол-во воды в приземных сосудах лизиметров л	Состав ВОВ в элюатах с угля $C_{орг}$, г/м ² за 1 год		Общий масштаб миграции ВОВ, $C_{орг}$ г/м ² за 1 год
		В водо-ацетоновом элюате (ИОВ)	В аммонийном элюате (ФК)	
Транс-элювиальный агроландшафт. Посев козлятника. Р. 4 (верхняя треть склона увала)				
Апах, 23	1,1±0,1	5,7±1,7	3,8/40,0*	9,5±3,7
Eh/V(g), 39	0,9±0,2	3,1±2,2	2,6/45,0	5,7±2,8
Транс-аккумулятивный агроландшафт. Посев клевера. Р. 1. (Подошва склона).				
Апах, 20	1,2±0,2	8,2±3,4	5,9/41,0	14,1±5,6
Транс-аккумулятивный агроландшафт. Посев козлятника. Р. 3. (Подошва склона).				
Апах, 15	1,4±0,4	9,7±4,1	7,8/44,0	17,5±5,4

- В знаменателе - % углерода ФК от общего масштаба миграции ВОВ.

В почвенно-геохимической миграции веществ важную роль играет круговорот воды. В верхнем супесчаном слое с двучленным сложением почв в

зоне тайги протекает провальная фильтрация почвенных растворов, а в суглинке – миграция по трещинам. На контакте слоев супеси и суглинка (на плакорах) часто застаивается избыток влаги и ВОВ: здесь развивается оглеение. На склонах холмов и увалов развит латеральный поток миграции. Присутствие ВОВ уменьшает силу поверхностного натяжения почвенных растворов в капиллярах и тонких порах, поэтому растворы в горизонтах почвы мигрируют весьма активно и с восходящим потоком влаги как летом, так и зимой. Кроме водной миграции ВОВ, в почвах тайги круглый год наблюдается диффузия веществ. Ее роль заметно возрастает в контактнo-осветленном горизонте двучленов, где образуются закисные соединения Fe^{2+} , Mn^{2+} , а также коллоидные системы AL, Fe, Si (табл. 29,30).

Какие же компоненты обнаружены в составе ВОВ? Нами идентифицированы как индивидуальные органические вещества (ИОВ фотосинтетического генезиса): алифатические органические кислоты, полифенолы, аминокислоты, так и специфические органические соединения, в частности, фульвокислоты (ФК – новые продукты, сформированные с участием микроорганизмов). Соотношение их масс было неоднозначно в изученных почвах. Так, из лесной подстилки в составе ВОВ больше диагностировано ИОВ, а после миграции ВОВ через сорбционные барьеры в их составе достоверно увеличивалась масса новых молекулярных структур, диагностируемых как ФК. Заслуживает внимания факт, что в составе ФК всегда обнаруживаются устойчивые Fe-органические комплексные соединения, возможно, это железопорфириновая матрица, играющая важную роль при фотосинтезе растений. Не исключено, что формирование молекул ФК в почвах связано с сорбционным комплексообразованием и перегруппировкой молекул ВОВ с участием Fe^{3+} и микроорганизмов в новые термодинамически устойчивые и мобильные формы веществ - ФК. Подобные структуры, наряду со вторичными минералами, сохраняют информацию (вещества и энергию) о прошедших фазах развития биоты и особенностях ее эволюции. Возможно, экологические функции мобильных ВОВ и ФК проявляются в качестве биогенных «аккумуляторов» и переносчиков генетической информации экосистем по трофическим цепям. В почве эта информация видоизменяется и сохраняется более полно в структурах гуминовых веществ. Именно поэтому и нужно беречь почвы: исчезнут почвы, «исчезнет» и человеческая популяция, став более агрессивной и с иной направленностью генетического кода. Подобные сведения требуют экспериментального изучения и обоснования с использованием современных методов исследований (хроматографии, радиоактивных индикаторов и др.) и нанотехнологий; пока же почвоведы заняты в целом прикладными вопросами земледелия, отвлекающими их от решения важных и фундаментальных задач. **Почвы нужно изучать как компоненты экосистем, а не только на уровне подсистемы, теряя новую информацию.**

Наблюдения также показали, что в транс аккумулятивной фации ЛОД (под кроной дуба) в годовом цикле миграции заметно выражена сорбция ВОВ.

Горизонт A_1/Eh , как мы и предполагали, является *транзитным для ВОВ*: сорбция не выражена. Характерно, что в наземном растительном покрове почти отсутствуют травянистые растения, очевидно, вследствие аллелопатических свойств ВОВ. *На плакоре, под кроной* лиственницы, в горизонте A_1/Eh отмечен аккумулятивно-элювиальный процесс: здесь закрепляется только *23% мигрируемых масс ВОВ*. Хотя в горизонте E_{hg} наблюдается более масштабная сорбция ВОВ. *В период вегетации* водная миграция ВОВ в почвах ЛОД выражена менее масштабно (из-за активизации деятельности микроорганизмов), а в составе ВОВ заметно преобладают вещества фульвокислотной природы.

В условно абиогенный период водная миграция в почвах ЛОД существенно усиливается: восходящий поток ВОВ достигает $20,1 \text{ г/м}^2 C_{орг}$. *Восходяще-нисходящие потоки* миграции ВОВ активизируют биологическую активность длительно промерзающих почв тайги и мобилизуют химические элементы в раствор из почвенных минералов и коллоидов. В этой связи доступность биоте химических элементов биоте существенно повышается, в частности, и за счет комплексообразования.

В сравнении с дерново-подзолами ЛОД, *в почвах Полевой опытной станции* водная миграция $C_{орг}$ ВОВ выражена менее активно, как и доля ФК в составе ВОВ (табл.29,30). Нижних горизонтов достигают слабо усредняемые катионами фракции ВОВ - ФК. Источником ВОВ в пахотных почвах являются *не только пожнивные растительные остатки (и детрит), но и трансформируемые органическими кислотами микроорганизмов гумусовые соединения почв. Особенно интенсивная деградация гумусовых веществ происходит в почвах, занятых «чистыми парами»*. Строго говоря, это уже не почвы, а *почвоподобные тела*, поскольку они долго функционируют без растительного покрова.

Заключение

Настоящая монография не является попыткой классификации и систематики почв Европейского Севера России. Мы рассмотрели только некоторые важные вопросы с позиции их ландшафтно-генетической диагностики. При этом почвы мы характеризуем на двух уровнях организации веществ и познания: *профильном (почвенном) и экосистемном*. В последнем случае почвы являются незаменимым компонентом и продуктом функционирующей экосистемы. Важно понять, что *без биоты не может быть никакой почвы*. Без биоты также невозможна и эволюция почв (хотя пестрота почвенного покрова, например в лесах, неразрывно связана с ветровалами, рубками, лесными пожарами). Поэтому увлечение *субстантивным подходом (оценкой генезиса почвы по морфологии и физико-химическим свойствам)* при диагностике и классификации почв свидетельствует только об одном – уровне понимания изучаемого объекта – почвы как подсистемы.

И раньше были попытки понять и оценить почву. Так, немецкий специалист Sprengel С. в 1837 г. *впервые опубликовал учение о почве*, хотя оно и было весьма своеобразным – агрогеологическим. Этого оказалось недостаточно, и В.В. Докучаев через 50 лет находит более точный – генетический подход к объяснению географии и генезиса почв. А затем и бонитета (стоимости почвы). Его ученик – Н.М. Сибирцев – написал первый учебник по почвоведению. Учитель не настаивал на соавторстве.

В данной книге мы попытались привлечь внимание читателей к проблеме систематики и генезиса почв на ландшафтно-геохимическом уровне.

А чем был вызван субстантивный подход при классификации почв? На наш взгляд, он связан с излишним «увлечением» диагностикой и классификацией почв сельскохозяйственных угодий. Почвоведы хорошо знают, что **почвы полевых агроландшафтов тайги большую часть года функционируют без растительности** (за исключением участков под многолетними травами), при активизации процессов оглеения, водной миграции, эрозии, а в аридных условиях – засоления. Возделываемые культуры в агроландшафтах Европейского Севера функционируют 2-3,3 месяца, *ежегодно отчуждая из почв огромные массы доступных форм элементов питания*. Отсюда вполне понятно и обосновано применение удобрений и травосеяния. *Считали, поскольку влияние биоты на процессы почвообразования и свойства почв агроэкосистем незначительное, поэтому почву можно рассматривать на уровне мало изменяющегося объекта: «что видим, то и есть почва» и не надо при описании и изучении свойств почвы рассматривать климат, растительность, рельеф, почвообразующую породу и историю данного ландшафта. Это некорректный подход*. Полученный нами фактический материал свидетельствует о заметной динамике почвенных процессов, миграции веществ и изменении свойств по сезонам. Поэтому и нужно применять Докучаевский подход при точной диагностике генезиса почв.

Методический подход, основанный на «увлечения пахотными почвами» при классификации и систематике почв априори переносился на огромные ландшафты тайги, смешанных лесов и лесостепи, в которых исключительно важная роль в генезисе почв принадлежит биоте и продуктам её жизнедеятельности. Например, хвойные таёжные леса в автономных ландшафтах Европейского Севера задают *биогеохимический вектор формирования почв подзолистого типа*. Вырубая леса, человек способствует активному заболачиванию почв подзон средней и северной тайги. Другой пример, связанный с *генезисом кислотности*. До сих пор кислотность изучается на *уровне подсистемы* в таёжном ландшафте: почва – почвенный горизонт (и образец нуль-мерного пространства). Экологические функции таёжной биоты *при оценке кислотности практически даже не рассматриваются*. А ведь зря: данный фактор неразрывно связан с мобилизацией в растворимое состояние, например, ионов ТМ, которые негативно воздействуют на биоту, например, хвойные породы, грибы, ягоды,

лекарственные растения. Здесь можно отыскать механизмы детоксикации ТМ, самоочищения почв и их экологической безопасности.

В настоящее время при классификации таксонов неполно учитывается также и тот факт, что почвы – *это давно сформировавшиеся природные тела*, которые унаследовали в своём генезисе особенности прошлых экосистем, о которых мы мало что знаем. Пока неясно, почему в почвах таежных экосистем накапливаются гумусовые вещества, *в основном фульвокислоты?* Они наследуются почвой от прошлых стадий почвообразования? В чем их экологические функции? Что передают гумусовые вещества современной биоте: способность кодирования и устойчивость воспроизводства генов? Немецкие специалисты, например, давно озабочены масштабной гибелью лесов в географической провинции «*Schwarzwald*». Предполагалось, что этот феномен связан с «кислотными дождями», хотя здесь осталось еще много загадок. В этой связи немецкими специалистами из Баварского института Леса проводятся инновационные изыскания в ландшафтах с использованием климатических станций (иногда их для краткости именуют «вышки»). Подобные сложные технические устройства представляют собой интегральные *метеорологические и гидрологические* измерительные станции с новейшим уровнем электронной техники, автоматики с выводом результатов наблюдений на компьютер. Затем эти данные могут очень быстро достичь центрального сервера в другом городе через спутник связи, систематизированы и использованы по назначению.

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

Что же представляют собой подобные станции наблюдения за климатом и химическим загрязнением ландшафтов с технической точки зрения? Какие параметры измеряются и с помощью, каких датчиков? Метеорологические параметры измеряются приборами, которые крепятся на отдельно монтируемой прочной телескопической антенне (с растяжками) высотой 10-30 метров. Для измерения температуры, например, используется термоэлектрический датчик (1/3 DIN) Pt 100, для определения влажности воздуха – специально обработанный пучок волос, суммарная солнечная радиация измеряется при помощи пиранометра, направление и скорость

ветра – с помощью необогреваемого комбинированного датчика ветра (чашечный круг и флюгер) с оптико-электронным считывающим устройством. Источником энергии служит, в частности, солнечная батарея. Осадкомер в этой станции может действовать без механического взвешивания порций осадков до минус 30⁰ С.

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

Мы рассмотрели одну из современных инновационных технологий при оценке экологической ситуации ландшафтов. *Другой, не менее актуальной,* является разработка инженерами на лизиметрической станции в г. Мюнхеберге (50 км от Берлина) инновационных лизиметров в комплектации *со станцией лесного климатического мониторинга*. На сайте www.ugt-online.de можно узнать более полную и полезную информацию. Уместно отметить, что один из авторов данной книги побывал в декабре 2011 г. на станции инновационных лизиметров, ознакомился с их комплектацией, установкой лизиметров в почву и их функционированием. Доктор Манфред Зейфарт (один из ведущих специалистов данного проекта) обстоятельно консультировал нас по техническим вопросам, разрешил спуститься в лизиметрическую «шахту» и объяснял работу многочисленных датчиков и сенсоров (рис. 49, 50). Он, например, отметил, что получаемая информация о почве, атмосфере и почвенных растворах в автоматическом режиме обрабатывается и передается в специальный (близлежащий) павильон. Нам показали этот павильон, где в компьютере формируется информационная база данных об экологическом состоянии ландшафта: атмосфере, почвах и лизиметрических водах. При этом важную роль играет мониторинг за трансатлантическим переносом воздушных масс и их химических соединениях.

Рассмотренные нами технические устройства, например, уже функционируют в Берлине, контролируя экологическую обстановку в

конкретном районе мегаполиса. Новые возможности открываются также и при применении ГИС в почвоведении, экологии и географии (Ю.Г. Пузаченко, 2003, 2007). Цифровые (электронные) карты имеют известные преимущества перед бумажными носителями и востребованы, наряду с GPS навигаторами, разными специалистами: космонавтами, археологами и топографами, военными, экологами, земледельцами и лесоводами, гидрологами и геологами.



Рис. 52. Посещение лизиметрической станции в г. Мюнхеберге (Германия), где конструируют лизиметрические устройства нового поколения, работающие совместно с климатической станцией и компьютером. На фото проф. Яшин И.М. и доцент Таллер Е.Б. внимательно слушают объяснение доктора Манфреда Зейфарта (декабрь 2011).

Вместе с тем остаются неполно решенными вопросы генезиса почв, оценки их анизотропности и поиска элементарного почвенного объема в полевых условиях (педона или индивидуума – Смит (1972), Карпачевский (1972,1973), Яшин (1987, 1988). Нередко приходится сталкиваться с резко различными свойствами почв в пределах их малого объема (даже одного разреза). Неясно, чем вызваны такие особенности: природой почвенных процессов или неоднородностью почвенных масс вследствие периодических ветровалов, вырубок, военных действий или другими явлениями?

При детальном изучении профилей почв в лесах тайги не решена задача о соотношении и взаимосвязи морфонов: насколько их генезис сопряжен с горизонтальной и вертикальной дифференциацией масс мелкозема? *Необходимо сбалансировать усилия специалистов по диагностике нативных и аграрных почв. Излишнее увлечение последними искажает, в известной мере, объективный взгляд на почвы. Уводит от осмысления понятия «экосистема» и его применения в почвоведении для обоснования экологических функций почв, становления экологического почвоведения.* Данное замечание принципиально важное. И вот почему. В.В. Докучаев рассматривал почву как сложную функцию от пяти факторов почвообразования: климата, растительности, почвообразующих пород, рельефа и возраста почв. **Экологическим функциям растительности** (в современном понимании совокупность групп живых организмов – биота)

основоположник научного почвоведения отводил очень важную роль. Достаточно рассмотреть такой пример. Один почвовед прислал в журнал «Почвоведение» статью и она попала на рецензию В.В. Докучаеву. В этой статье были охарактеризованы уникальные (по плодородию) свойства таежной почвы. Но поскольку ее показатели не укладывались в понятие «подзолистые почвы», автор резонно предложил назвать их «северными черноземами». По современной диагностике – это была высоко бонитетная



Рис. 53. Лизиметрическая станция в г. Мюнхеберг (Германия): телескопическая антенна и приборы, оценивающие состояние атмосферного воздуха и почвы по данным лизиметров шахтного типа. Результаты измерений автоматически передаются на компьютер, расположенный рядом (в 20-30 м) в уютном специальном павильоне (фото Яшина И.М., декабрь 2011 г.).

дерново-карбонатная среднесуглинистая почва, возможно, «Каргопольской суши» Архангельской губернии. Прочитав внимательно статью, В.В. Докучаев написал в рецензии: «Такие черноземы нам не нужны». И отклонил статью. Почему он так сделал? Ответ очень простой: *черноземы – это продукт лесостепной и степной растительной формации. Уже на этом примере проявляется четкая позиция В.В. Докучаева, впоследствии обосновавшего закон географической зональности почв. Закон означает строгое пространственное расположение определенных типов почв по географическим ландшафтам. Если придерживаться субстантивного тезиса: «Что видим в разрезе, то и есть почва», можно легко запутаться, особенно начинающим почвоведом. В.В. Докучаев же оставил нам точный и научно-обоснованный ориентир. Безусловно, стандартизация морфологии почв нужна. Специалисты США, Англии, Германии, Италии, Франции, Испании, Австралии, Китая, Южной Кореи добились здесь заметных успехов. При этом не нужно забывать (если работы наших соотечественников все же читают зарубежные специалисты) достижения В.В. Докучаева – основоположника научного почвоведения.*

И в заключении обратим внимание на еще одну проблему, касающуюся диагностики почв. Рассматривая почву по В.В. Докучаеву как сложную функцию пяти факторов почвообразования, можно констатировать, *если в аграрных ландшафтах пахотные почвы длительное время (сотни лет)*

находятся без растительного покрова (хотя периодически 2-3 месяца выращиваются сельскохозяйственные культуры), то оказывается, следуя Докучаевскому пониманию термина «почва», такие природные тела, по-видимому, уже нельзя относить к собственно почвам. Во-первых, эти почвы сформировались в иных экологических условиях, например, с участием лесной хвойной растительности. Во-вторых, при оценке генезиса данной почвы уже «выпал» один фактор почвообразования – нативная таежная биота. В-третьих, в агроэкосистеме радикально нарушен биогеохимический круговорот химических элементов, который и способствовал образованию, в частности, подзолистой лесной почвы. В-четвертых, изменилась **направленность** ведущих процессов почвообразования: в таежном лесу доминирует процесс подзолообразования (и биогенной кислотности), а в агроэкосистемах – дегумификация, глееобразование, лессиваж и водная миграция веществ; происходит деградация гумуса и самой почвы, созданной в таежной лесной фации.

Следовательно, это уже не почвы, а почвоподобные образования. Такими их сделали люди – земледельцы. Зачем нужен указанный термин? Он позволяет, прежде всего, задуматься о генезисе почв агроландшафтов, их развитии, деградации и более *рачительном* использовании. Почвенный покров, не защищенный растительностью, особенно на склонах увалов и гряд, постепенно деградирует.

К сожалению, при экономической оценке почв произошла подмена понятий: вместо почв проводится оценка «земель», хотя термин «земля» имеет иной смысл. Есть научная дисциплина «Ландшафтоведение», которая имеет свои объекты, терминологию и методы исследования. Их и нужно использовать вместо термина «земля»: это фации, урочища, местности и ландшафты. *Данные таксоны картографируются.* Термин «земля» принадлежит другой научной дисциплине «Землеведение» - науке о Земле. В агроландшафтах выделение «земельных угодий» не совсем корректно. Как картировать подобные таксоны? Какие «земле образующие» процессы изучены и известны? Земледельцы их и должны регулировать, чтобы улучшить... **свойства почв**?! Конечно, любая точка зрения заслуживает внимания. Но она должна подкрепляться фактами и доказываться.

Библиография

1. Алексеенко В.А. Миграция и концентрация химических элементов в биосфере // В кн. Экологическая геохимия. Учебник. М.: Логос. 2000. С. 259 – 296.
2. Апарин Б.Ф., Рубилин Е.В. Особенности почвообразования на двучленных породах. Л.: Наука. 1975. – 195 с.
3. Арманд А.Д, Таргульян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента и моделирования в географии // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1974. № 4. – С. 129-138.

4. Атлас почв СССР. Ред. И.С. Кауричев и И.Д. Громько. М.: Колос. 1974. – 168 с.
5. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука. 1986. – 297 с.
6. Белобров В.П., Замотаев И.В., Овечкин С.В. География почв с основами почвоведения. М.: Академия. 2004. – 352 с.
7. Биогеохимические основы экологического нормирования. Ред. Башкин В.Н. и др. М.: Наука. 1993. – 304 с.
8. Большаков В.А., Белобров В.П., Шишов Л.Л. Словник. Термины. Их краткое определение, справочные материалы по общей и почвенной экологии, географии и классификации почв. М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева – РАСХН. 2004. – 139 с.
9. Боул С., Хоул Ф., Мак-Крекен Р. Генезис и классификация почв. М.: Прогресс. 1977. - 415 с.
10. Варшал Г.М., Кашеева И.Я., Сироткина И.С. и др. Изучение органических кислот поверхностных вод и их взаимодействия с ионами металлов // Геохимия. 1979. № 4. – С. 598 – 607.
11. Васенев И.И., Таргульян В.О. Ветровал и таежное почвообразование (режимы, процессы, морфогенез почвенных сукцессий). М.: Наука. 1995. - 247 с.
12. Вернадский В.И. Биосфера. М.: Мысль. 1967. – 348 с.
13. Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжёлых металлов в почвах. М.: Почв. ин-т имени В.В. Докучаева. 2005. – 110 с.
14. Генезис и экология почв Центрально-лесного государственного заповедника. Ред. акад. РАН Г.В. Добровольский. М.: Наука. 1979. – 271 с.
15. Глазовская М.А. Методологические основы эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям М.: МГУ. 1997. – 127 с.
16. Дмитриев Е.А. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС. 2001. – 375 с.
17. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. Учебник. Изд. 4-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2010. – 336 с.
18. Докучаев В.В. Избранные сочинения. т. 3. Картография, генезис и классификация почв. М.: Гос. изд. с.-х. литературы. 1949. – 446 с.
19. Зайдельман Ф.Р. Трансформация органического вещества при оглеении и его роль в миграции Fe, Al. В кн. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука. 1974. – С. 22.
20. Зольников В.Г. Дискуссионные вопросы использования научного наследия В.В. Докучаева и Н.М. Сибирцева // В Сб. материалов науч. сессии, посвящ. 130-летию со дня рождения Н.М. Сибирцева «Исследование почв на Европейском Севере». Архангельск. 1990. – С. 18-29.

21. Изотов В.Ф. Ход промерзания и оттаивания почвы в заболоченных лесах северной подзоны тайги / Почвоведение. 1968. № 6. – С. 117- 124.
22. Карпачевский Л.О. Лизиметрические методы оценки выноса веществ из почвы // В кн. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность. 1981. – С. 69-76.
23. Карпухин А.И., Яшин И.М., Черников В.А. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжёлых металлов // Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. – С. 107-126.
24. Кауричев И.С., Кащенко В.С., Яшин И.М. Некоторые аспекты подзолообразования в почвах средней тайги // Известия ТСХА. 1976. Вып. 2. – С. 81 – 90.
25. Кауричев И.С., Савич В.И., Степанова Л.П. Геохимическая характеристика ландшафтов. Орел: ОГАУ. 2004. – 214 с.
26. Кауричев И.С., Яшин И.М. Образование водорастворимых органических веществ как стадия превращения растительных остатков // 1989. Вып. 1. – С. 47- 57.
27. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях М.: МСХА. 1996. – 144 с.
28. Караванова Е.И., Тимофеева Е.А. Химический состав растворов макро- и микропор поверхностных горизонтов некоторых почв ЦЛГПБЗ // Почвоведение. 2009. № 12. – С. 1456-1463.
29. Кашанский А.Д. Подзолистые почвы на двучленных наносах Европейского Севера СССР // Сб. Современные почвообразовательные процессы. М.: ТСХА. 1974. – С. 112-135.
30. Кащенко В.С., Яшин И.М., Самозвон Н.М. Аллювиальные почвы нижнего течения рек Мезени и Кулоя // Известия ТСХА. Вып. 3. – С.100-106.
31. Киселев Г.П., Зыков С.Б., Баженов А.В. Радиоактивные исследования почв Беломорско-Кулойского плато в связи с кимберлитовым магматизмом. К 70-летию геологической службы на Европейском Севере России. Материалы Межд. научной конф. Архангельск. 2001. – С.76.
32. Классификация и диагностика почв России. Ред. Г.В. Добровольский. М.: РАСХН, МГУ имени М.В. Ломоносова. 2004. – 342 с.
33. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. 224 с.
34. Классификация почв России. Ред. Л.Л. Шишов. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. 2000. – 235 с.
35. Ключи к таксономии почв. Департамент сельского хозяйства США. Линкольн, Небраска. 1995. – 385 с.
36. Ковалевский В.В. Шунгит или высший антраксолит? / Записки Российского минералогического общества. 2009. Ч. СXXXVIII. № 5. – С. 97.

37. Копосов Г.Ф. Артефакты лизиметрического метода исследования почв // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Лизиметрические методы исследования почв». М.: МГУ имени М.В. Ломоносова. 1998.
38. Корнблум Э.А., Любимова И.Н., Турсина Т.В. Мозаичные почвенные профили и способы их описания // Почвоведение. 1972. № 8. - С. 36-44.
39. Красильников Н.А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: АН СССР. 1958.
40. Лархер В. Экология растений. М.: Мир. 1978. – 384 с.
41. Лесные почвы Европейского Севера. Библиогр. указ. трудов Паршевникова А.Л. (ред. Л.А. Варфоломеев). Архангельск. 2000. – 33 с.
42. Ливеровский Ю.А. Почвы СССР (географическая характеристика). М.: Мысль. 1974. – 462 с.
43. Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты. – Ин-т проблем промышленной экологии Севера. 1996. т.1. – 213 с.; т. 2 – 195 с.
44. Лукина Н.В., Никонов В.В. Кислотность подзолистых AL-Fe-гумусовых почв сосновых лесов в условиях аэротехногенного загрязнения // Почвоведение. 1997. № 7. – С. 879-891.
45. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. Под ред. Н.Г. Зырина и С.Г. Малахова. М.: МГУ. 1981. – 107 с.
46. Милащенко Н.З., Соколов О.А., Брайсон Т., Черников В.А. Устойчивое развитие агроландшафтов. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Книга 2., Т.1 и Т. 2. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2000. 315 с. и 282с.
47. Многолетние процессы в природных комплексах заповедников России. Материалы науч. конференция, посвященной 80-летию ЦЛГПБЗ 20-24 августа 2012. Великие Луки, 2012, - 416 с.
48. Морозов С.В. Постижение Соловков (очерки и материалы). Изд. 2. М.: Товарищество Северного Пароходства. 2004. – 186 с.
49. Морозова Р.М. Почвообразование на песчаных отложениях Карелии. В кн. Почвы лесов Карелии. Петрозаводск. Ин-т Леса КНЦ. 1978. – С. 4 – 43.
50. Морозова Р.М., Федорец Н.Г. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск. 1992. – 282 с.
51. Наумов В.Д., Поляков А. Н. 145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: Учебное пособие. М.: МСХА. 2009. - 512 с.

52. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос. 1973.
53. Перевозчикова Е.М., Тойкка М.А., Левкина Т.И. К геохимии микроэлементов в ландшафтах Карелии (материалы к X Международному съезду почвоведов) // В кн. Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск. Ин-т Леса КНЦ. 1974. – С. 23-36.
54. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа. 1975. – 342 с.
55. Петрухин В.А. Фоновое содержание Pb, Hg, As, Cd в природных средах (по мировым данным). // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеоздат. 1986. Вып. 3. – С. 3-27.
56. Почвенная съёмка. М.: АН СССР. 1959.
57. Почвенные исследования на Европейском Севере (библиографический указатель литературы за 1763-2001 гг.). Ред. Л.А. Варфоломеев. Архангельск: РАН, ДОП. 2002. – 231 с.
58. Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. Ред. Шишов Л.Л. М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева. 2001. - 400 с.
59. Почвенный справочник. Перевод с франц. Ред. М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена. 2000. – 285 с.
60. Почвообразование в лесных биогеоценозах. Ред. Г.В. Добровольский. М.: Наука. 1989. – 105 с.
61. Почвы Карелии: геохимический атлас / Н.Г. Федорец, О.Н. Бахмет, А.Н. Солодовников, А.К. Морозов; Ин-т леса КарНЦ РАН. – М.: Наука, 2008. – 47 с.
62. Почвы Мира (атлас). Ред. В. Цех, Г. Хинтермайер-Эрхард. М.: Академия. 2007. – 120 с.
63. Пузаченко Ю.Г., Скулкин В.С. Структура растительности лесной зоны СССР: системный анализ. М.: Наука. 1981. – 275 с.
64. Пузаченко Ю.Г., Штефанов С.В. Место биосферных заповедников в реализации стратегии устойчивого развития. В Сб. Труды Центрально-лесного ГБЗ. Материалы юбилейной конференции, посвященной 75-летию заповедника. Великие Луки. 2007. – С. 137-173.
65. Путеводитель почвенных экскурсий (южная Карелия). Ред. Р.М. Морозова, Н.Г. Федорец, О.Н. Бахмет. Петрозаводск. 2005. – 79 с.
66. Роуэлл Дэвид. Природа почвенной кислотности. В кн.: Почвоведение: методы и использование. Ред. Б.Н. Золотарева. М.: Колос. 1998. С. 222-251.
67. Савинов Ю.А. Четвертичная геология Севера Русской равнины. Л.: ЛГУ. 1971. – 192 с.
68. Савич В.И. Теоретические основы определения предельно допустимых концентраций (ПДК) компонентов для экологической системы почва – растение – среда // Доклады ВАСХНИЛ. 1991.

69. Савич В.И. с соавт. Развитие древесных насаждений как биологический тест на загрязнение почв в условиях Московской области // Известия ТСХА. Вып. 4. С. 1-19.
70. Савич В.И. с соавт. Почвы мегаполисов: их экологическая оценка, использование и создание (на примере г. Москвы). М.: Агробизнес центр. 2007 – 660 с.
71. Сае́т Ю.Е., Ревич Б.А. Эколого-геохимические подходы к разработке критериев нормативной оценки состояния городской среды // Известия АН СССР. Сер. география. 1988. № 4.
72. Сае́т Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Наука. 1990. – 335 с.
73. Север Европейской части СССР. Ред. И.П.Герасимов и Г.Д. Рихтер. М.: Наука. 1966. – 450 с.
74. Систематический список почв Архангельской области с диагностическими показателями. В.С. Кащенко и др. М.: МСХА. 1980. – 42 с.
75. Скляров Г.А., Шарова А.С. Почвы лесов Европейского Севера. М.: Наука. 1970 – 271 с.
76. Скопина В.В., Щенникова Л.А. Архитектурно-художественный ансамбль Соловецкого монастыря. М.: Искусство. 1983. – 183 с.
77. Солнцев Н.А. В защиту закона Докучаева // Ландшафтный сборник. М.: МГУ. 1973. – С. 5-28.
78. Таргульян В.О., Соколова Т.А., Бирин А.Г., Куликов А.В., Целищева Л.К. Организация, состав и генезис дерново-палево-подзолистой почвы на покровных суглинках. (Морфологическое описание – 54 с.; Аналитическое исследование – 110 с.). М.: Наука. 1974.
79. Тонконогов В.Д. К генетической классификации и географии глинисто-дифференцированных почв Европейской территории Союза // Почвоведение. 1985. № 4. – С. 5-16.
80. Условные обозначения для крупномасштабных почвенных карт. М.: Институт Росгипрозем. 1974.
81. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Морозова Р.М., Солодовников А.Н. Почвы и почвенный покров особо охраняемых природных территорий Карелии. Петрозаводск. Институт Леса РАН. 2009. – 109 с.
82. Фридланд В.М. (ред.) Почвенная карта РСФСР. М.: ГУГК. 1988.
83. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Толковый словарь по физике почв. М.: ГЕОС. 2003. – 124 с.
84. Цифровая модель суши с разрешением 90 м. The NASA Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM): <http://srtm.csi.criar.org/>.
85. Шишов Л.Л., Кауричев И.С., Большаков В.А., Яшин И.М. и др. Лизиметры в почвенных исследованиях. М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева. 1998. – 264 с.
86. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв. Коллективная монография. М.: Изд-во Гриф и К. 2007. - 616 с.

87. Экогеохимия городских ландшафтов. Ред. Касимов Н.С. М.: МГУ. 1995. - 336 с.
88. Экология Северной Двины. Архангельск. Изд. дом «ЭЛПА» 1999. - 228 с.
89. Ярков С.П. Почвы лесолуговой зоны. М.: АН СССР. 1961. - 318 с.
90. Яшин И.М. Элементы симметрии и асимметрии почвенного покрова таежно-лесной зоны // Известия ТСХА .1988. Вып. 2. - С. 78-86.
91. Яшин И.М. Водная миграция веществ в глееподзолистых почвах северной тайги // Известия ТСХА. 2006. Вып. 4. - С. 21- 27.
92. Яшин И.М. Методология и опыт исследования органических веществ лизиметрических (и природных) вод таежных ландшафтов // В кн. Материалы Международного симпозиума «Методы исследования органического вещества почв». Владимир: РАСХН. 2005. - С. 481- 487.
93. Яшин И.М. Почвы северо-таёжных ландшафтов острова Большой Соловецкий Архангельской области // Сб. Трудов, посвящ. 145-летию со дня рождения Н.М. Сибирцева. Архангельск. 2005. – С. 23-26.
94. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА. 2013. – 183 с.
95. Яшин И.М., Гавриков Г.Г. Элементарные структуры почвенного покрова южной части Архангельской области // Известия ТСХА. 1986. Вып. 6. – С. 73-84.
96. Яшин И.М., Карпачевский Л.О. Экогеохимия ландшафтов. Учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2010. – 224 с.
97. Яшин И.М., Кашанский А.Д. Развитие идей И.С. Кауричева в области теоретического почвоведения и экологии. Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.Р. Вильямса и 100-летию со дня рождения И.С. Кауричева (03-05 декабря 2014). М.:РГАУ-МСХА. 2014. – С. 105-112.
98. Яшин И.М., Кащенко В.С., Платонов И.Г., Самозвон Н.М. К характеристике почвенного покрова Архангельской области // Известия ТСХА. 1986. Вып. 1. – С. 101-109.
99. Яшин И.М., Кауричев И.С. Особенности процессов глее- и подзолообразования в почвах таежных экосистем // Известия ТСХА. 1996. Вып. 1. – С. 79-97.
100. Яшин И.М., Кауричев И.С., Черников В.А. Экологические аспекты гумусообразования // Известия ТСХА. 1996. Вып. 2. – С. 59-71.
101. Яшин И.М., Кащенко В.С. Миграция водорастворимых органических соединений в супесчаных глееподзолистых почвах Севера Европейской части СССР // Известия ТСХА. 1984. Вып. 6. – С. 59-71.
102. Яшин И.М., Кащенко В.С., Самозвон Н.М., Винокуров Л.О. Почвенное районирование территории Архангельской области // Известия ТСХА. 1986. Вып. 2. – С. 65-75.

103. Яшин И.М., Мухин Е.В. Перспективы применения лизиметрического метода в почвоведении и экологии // Известия ТСХА. 2003. Вып. 2. – С. 40-62.
104. Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Ландшафтоведение: лабораторный практикум. М.: МСХА. 2004. 75 с.
105. Яшин И.М., Пузырев С.В., Мухин Е.В. Основы ландшафтоведения: эколого-геохимические аспекты. М.: МСХА. 2004. 212 с.
106. Яшин И.М., Раскатов В.А., Шишов Л.Л. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М.: МСХА. 2003. 316 с.
107. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах М.: МСХА. 2000. 560 с.
108. 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.
109. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Буринова Б.В. Исследование барьеров миграции ТМ в почвах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2010. Вып. 3. – С. 9-23.
110. Яшин И.М., Постников Д.А., Таллер Е.Б. Экологическое состояние и генезис почв учхоза «Дружба» Ярославской области // Доклады ТСХА. 2011. Часть 1. – С. 335-339.
111. Яшин И.М., Петухова А.А., Грачев Д.А. Экологические аспекты глее- и подзолообразования в экосистемах тайги // Известия ТСХА. 2011. Вып. 5. – С. 13- 26.
112. Яшин И.М., Васенев И.И., Ворников Д.В., Петухова А.А. Экологическое состояние и деградация черноземов Приволжской возвышенности (на примере учхоза «Муммовское» Саратовской области) // Известия ТСХА. 2012. Вып. 1. – С. 41- 52.
113. Яшин И.М., Кашанский А.Д., Петухова А.А., Когут Л.П. Ландшафтно-геохимическая диагностика почв Европейского Севера России. Монография. М.: РГАУ-МСХА. 2012. – 158 с.
114. Яшин И.М., Васенев И.И. и др. Методические указания по диагностике органического углерода, азота, нефтепродуктов и состава гумусовых веществ почв. М.: РГАУ-МСХА. 2012. – 131 с.
115. Яшин И.М., Васенев И.И. и др. Почвы Центрально-лесного заповедника в Тверской области // Известия ТСХА. 2014. Вып. 3. С. 5-19.
116. Яшин И.М., Сердюкова А.В., Петухова А.А., Грачев Д.А. Изучение миграционных потоков тяжелых металлов для диагностики загрязнения таежных экосистем // Известия ТСХА. 2012. Вып. 2, - С. 20-31.
117. Abrahamsen G. Effect of acid deposition on forest soil and vegetation. // Phil. Trans. K. Soc. Lond. 1984. V. 305. P. 369-382.

118. Andreas N. Grohmann, Martin Jekel, Andreas Grohmann, Regine Szewzyk, Ulrich Szewzyk. Wasser: Chemie, Microbiologie und nachhaltige Nutzung. Studium. Druckhaus «Thomas Muntzer». Berlin. 2011. 368 s.
119. Antonovic G.M. Classification of damaged soils, Trans-section of 13-th congress of the International Society of Soil Sciences. Hamburg. FGR. 1986. 3. P. 1036-1037.
120. Arbeitskreis für Bodensystematik der DGB: Systematik der Boden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. – Mitt. Dt. Bodenkndl. Ges. Oldenburg. 1998. 86. 180 s.
121. Bache B. W. Aluminium mobilization in soil and waters // J. Geol. Soc. London. 1986. 143. P. 699-706.
122. Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Mitarbeit bei ausgewählten Kapiteln: Altermann M, Blankenburg // J., Blume H.-P. u. a. Hannover. 2005. 438 s.
123. Brady N. C. The nature and properties of soils. Macmillan Publ. Co. New-York. 1984. 750 p.
124. Brides E.M. World Soils. Cambridge University Press. 1979.
125. Global Environmental Monitoring System (GEMS). SCOPE Report 3. Canada. 1973. P. 74.
126. Demonstrationsvorhaben Waldklimastation im Staatlichen Russischen Biosphärenschutzgebiet «Zentrales Waldreservat». Leiter: T. Preuhsler, Martin Kennel. Freising. 1994. – 267 s.
127. Dieter H., Hergt M. Atlas zur Ökologie, 4. Aufl. – Deutscher Taschenbuch Verlag. München. 1998.
128. Karl Stahr, Ellen Kandeler, Ludger Herrmann, Thilo Streck Bodenkunde und Standortlehre. Stuttgart (Hohenheim). 2008. – 318 s.
129. Kubiena W. L. Bestimmungsbuch und Systematik der Boden Europas. Stuttgart. 1953.
130. Kundler P. Zur Kenntnis der Rasenpodsol und grauer Waldboden Mittelrusslands im Vergleich mit den Boden lessives des westlichen Europas // Z. Pflanz. Dung. Bodenk. 1959. Bd. 86. H. 1.
131. Munsell soil color charts. Baltimore. 1975.
132. Petersen L. Podzols and podzolisation. Copenhagen. 1976.
133. Ramann E. Bodenkunde. Berlin. 1905.
134. Soil processes and the carbon cycle. CRS Press. 1997. 615 p.
135. Soil taxonomy. USDA. 1999. 869 p.
136. Ulrich B. Ökologische Gruppierung von Boden nach ihrem chemischen Bodenzustand // Pflanzenernährung und Bodenkunde. 1981. 144. S. 289-305.
137. Ulrich B. Die Rolle Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten // Forstwissenschaftliches Zentralblatt. 1986. Bd. 105. S. 421-435.
138. Umwelt-Geräte-Technik (Katalog): Lysimeterversuche. Müncheberg. 2011. 209 s. (www.ugt-online.de).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Brief information about scientific and pedagogical activities of professor Ivan M. Iashin

Ivan Mikhaylovich Iashin – Ph.D. in biology, Academician of The New York Academy of Sciences, professor in the Department of Biology at Russian Timiryazev State Agrarian University, active member of the Dokuchaev Soil Science Society of the Russian Federation. Author of over 160 scientific papers, 6 monographs and 5 textbooks, 6 teaching materials, and 6 modular training programs. Co-author of scientific projects of Russian Foundation for Basic Research and Russian Government. Grantee of TEMPUS program.

Professor Yashin has been studying the soils and landscapes near Moscow, and in Karelian, Saratov, Tver and other regions of the Russian Federation. He has been paying special attention to methodological issues in the study of landscapes. Research interests of professor Iashin include problems of water migration of substances in the soil cover, soil genesis, condition and degradation, soil formation processes, as well as chemical contamination of soils in forest, forest park and agricultural landscapes. Scientific developments of Ivan M. Iashin include the concept of biogenic acidity of taiga ecosystems, as well as modification of sorption lysimeters method.

Professor Iashin teaches the following disciplines: "Geo-ecology", "Methods for Environmental Studies", "General Ecology", "Ecogeochemistry of landscapes", "Landscape studies", "Geography", "Hydrosphere sciences", "Ecological mapping" and "Ecogeochemistry". He is the director of field practice courses on "Agricultural Ecology", "General Ecology", "Ecology and conservation of soil". Professor Iashin is the author of students' textbooks on environmental courses: "Landscape studies" and "Methods for Environmental Studies", approved by the Department of Education and Science of the Russian Federation. In 2002-2004 team, led by Professor Iashin, won a three-year research grant from Russian Foundation for Basic Research on the subject of "Formation, migration and function of water-soluble organic matter in the soils of the taiga".

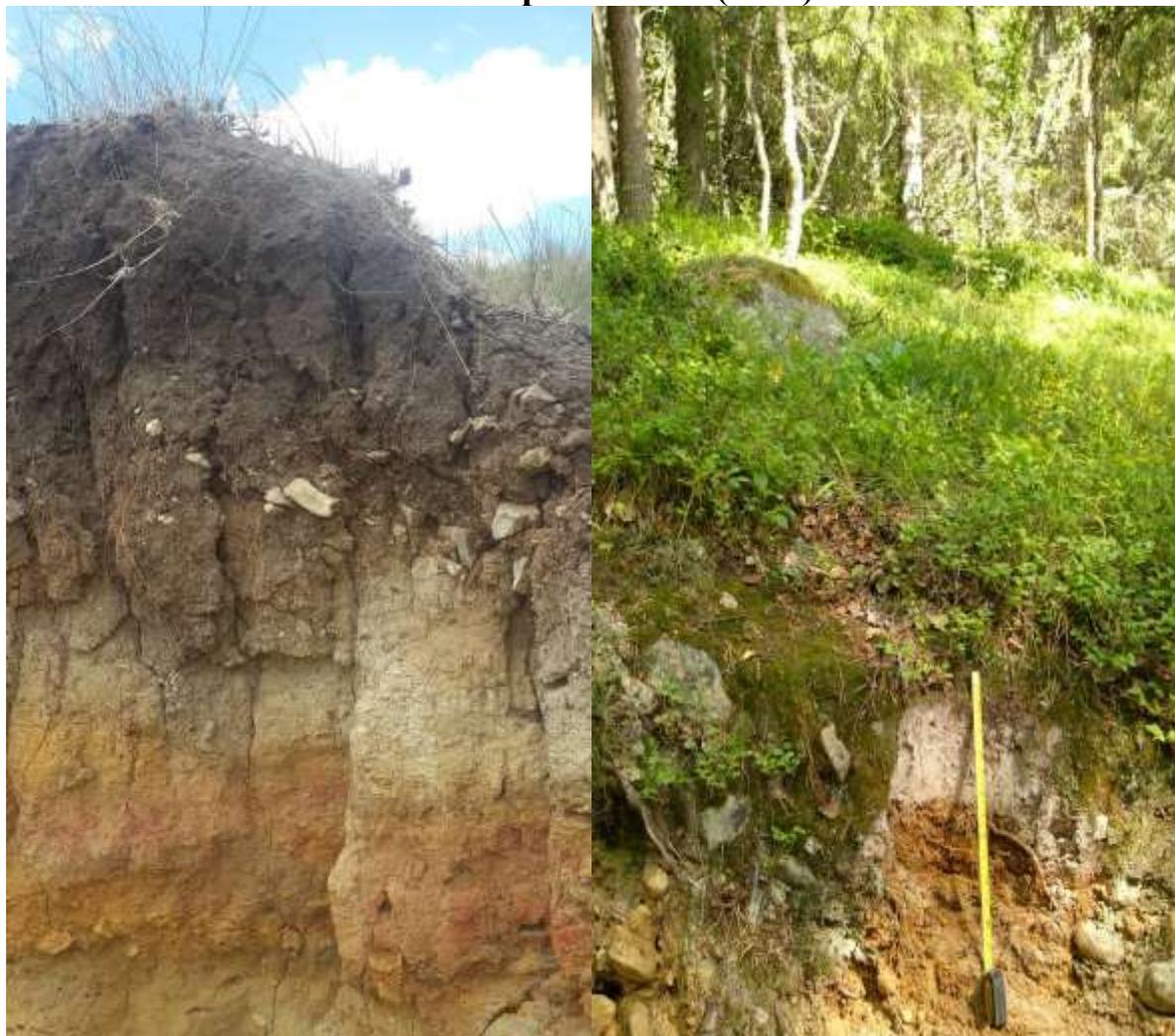
Ivan Iashin's ongoing training includes research and teaching fellowships at the Humboldt University of Berlin and the University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna. He has been actively involved in the implementation of the European educational system in Russia. Ivan Iashin was awarded the K.A. Timiryazev Prize for his contribution to the development of Russian science and education.

Яшин И. М. – д.б.н., профессор кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с 1994 года. Закончил очную аспирантуру на кафедре почвоведения, в 1974 году защитил кандидатскую, а в 1993 докторскую диссертации. Активно занимался спортом: **осенью 1972 г.** по межвузовскому обмену ездил в составе команды ТСХА по баскетболу в Высшую Пражскую с.-х. школу. С 1974 по 1978 гг. был начальником отдела почвенно-агрохимических изысканий Московской областной станции химизации, а затем до 1986 гг. работал в почвенно-геоботанической экспедиции ТСХА - изучал почвы Тувы, Архангельской и Ярославской областей. С 1986 по 1991 гг. работал на кафедре физической и коллоидной химии, в группе В.А. Черникова по изучению гумуса в почвах стационарных опытов ТСХА. В 1993-2004 гг. читал лекции и вел семинары по дисциплинам: «Методы экологических исследований», «Землеведение», «Ландшафтоведение», а с 2006 г. - «Экогеохимия ландшафта», «Учение о гидросфере», «Экологическое картографирование», «Экология и охрана почв», «Геоэкология». Разработал базовые учебные программы и УМКД по этим курсам, а также учебным практикам по курсам «Сельскохозяйственная экология» и «Экология и охрана почв». В 1993-1996 гг. руководил учебной практикой по курсу «Ландшафтоведение». С 1996 г. руководит выездными учебными практиками в учхозах Саратовской и Ярославской областей. Работает по проектам TEMPUS. В 2002-2004 гг. коллектив, руководимый профессором Яшиным И.М., выиграл трехлетний научный грант РФФИ – экспедиционный и инициативный. Исследует водную миграцию веществ в почвенном покрове, генезис почв, их состояние и деградацию, процессы почвообразования, а также химическое загрязнение почв. Модифицировал метод сорбционных лизиметров для оценки интенсивности мобилизации в раствор из твердой фазы химических элементов. Разработал *концепцию биогенной кислотности* таежных экосистем, а также новый методологический подход *при оценке химического загрязнения экосистем лесопарков Москвы и Петрозаводска*. Много внимания уделяет методическим вопросам изучения ландшафтов. Опубликовал более 170 научных работ, 7 монографий и 6 учебных пособий. Подготовил **8** кандидатов наук, в том числе за период 2006-2014 гг. - **5** 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 ВОРКУ. Награжден в 2013 г. медалью имени К.А. Тимирязева. В настоящее время является соавтором научных проектов РФФИ и Правительства России. Член Докучаевского общества почвоведов РФ, и двух диссертационных советов по почвоведению и экологии на факультете ПАЭ в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Поддерживает творческие связи с коллегами из МГУ имени М.В. Ломоносова, Почвенного института имени В.В. Докучаева, Института Леса Карельского научного центра, Архангельского института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Дальневосточного государственного университета, Краснодарского аграрного университета и Воронежского государственного университета. Активный участник и организатор университетских, региональных, международных научных конференций. На кафедре экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева руководит студенческим научным обществом, координирует научные исследования. Консультирует научную работу с гимназиями Москвы и школами ряда регионов РФ - Московской, Липецкой и др. областей по проекту «Старт в науку». Член редколлегии журнала «Агроэкология», первый номер которого вышел осенью 2014 г.

Кашанский А.Д. – к.с.-х.н., доцент кафедры почвоведения с 1976 г. Полная информация о научно-педагогической деятельности А.Д. Кашанского представлена на сайте кафедры почвоведения по ссылке: университет РГАУ-МСХА, факультет ПАЭ, кафедра почвоведения www.timacad.ru. Широко известен как специалист по крупномасштабному картированию почв таежных ландшафтов и диагностике двучленных почвообразующих пород. Один из последователей метода сорбционных лизиметров, разработанного И.С. Кауричевым в 1959 году. В 70-80 годах прошлого века руководил выездной учебной практикой по географическим зонам Советского Союза по маршруту: Москва – Ялта. В 90-х годах руководил учебной практикой по почвоведению в учхозе «Дружба» и в Архангельской области. Увлекается фото- и киносъемкой. Награжден в 2013 г. медалью имени К.А. Тимирязева.

Приложения

к монографии И.М. Яшина, АД Кашанского
«Ландшафтно-геохимическая диагностика и генезис почв Европейского
Севера России» (2015)



А

В

Рис.1. **А** – профиль чернозема солонцеватого супесчаного деградированного на древнем аллювии коренного берега р. Большой Кольшлей (Аткарский район, д. Марфино, Саратовской области); **В** – профиль подзола иллювиально-железистого песчаного, развитого на флювиогляциальных отложениях (о. Большой Соловецкий, на С-3 от аэродрома в 145 м, в сосняке с угнетенными елью и березой). **И та, и другая почвы** (функционирующие в различных экологических условиях, но на песчаном субстрате) сверху имеют **органогенные горизонты, белесые горизонты (их именуют часто подзолистыми)** и, наконец, горизонты **иллювиально-железистые**, в которых наблюдается трансформация и перераспределение соединений железа, то есть *хроматография продуктов разрушения гумусовых веществ*. Но причины эволюции этих почв разные: в первом случае – **осолонцевание**, а во втором – **кислотный гидролиз**. Песок выступает «инертным» носителем при фракционировании миграционных групп **ВОВ**; **пока неясно – это физико-химический процесс, или это процесс, играющий экологическую роль в функционировании биоты?** (фото И.М. Яшина, А-2012; В – 2004).



А

В

Рис. 2. Продолжение анализа морфологии почв на рис.1,А: в ситуации, когда источник мигрантов (гуматов и фульватов натрия) почти полностью исчерпан (**гумусово-аккумулятивный горизонт чернозема почти полностью деградирован**), то на **фото 1,В** отмечается интенсивная **цементация железистого кварцевого песка (до монолитного состояния)**, **резкое уменьшение мощности профиля** с формированием плиток и очень прочных педов (напоминающих **железистые коры – панцири**, которые мы изучали в Ливии в экспедиции «Союзсельхоззагранпоставка», в 1979-1980 гг. в красновато-бурых аридных опесчаненных почвах северной части Сахары). Причем при деградации чернозема **исчезли два горизонта – белесый и гумусовый**. Остается плотный железистый панцирь, бронирующий поверхность «почвы» - **железистой коры** - от дальнейшего разрушения; данному процессу, очевидно, способствовали жесточайшие засухи и пожары в 2010-2012 гг. (фото И.М. Яшина, **А – 2012 и В - май, 2015**).



Рис.3. Еще один пример **хроматографии ВОВ** и органоминеральных соединений **Fe, Mn** в верхнем (**супесчаном**) горизонте микроподзола в текстурно-дифференцируемом профиле на двучленных отложениях (ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, плакор холма, лиственница – возраст 120 лет); *Уже ранней весной*, после таяния снегового покрова, наблюдается *интенсивная водная миграция компонентов ВОВ и комплексных органоминеральных соединений* из растительного опада и лесной подстилки в верхнем супесчаном профиле микроподзола на двучленах. Это четко видно **на фото 3**: горизонты белесый (подзолистый) и иллювиально-железистый завуалированы мигрантами, и их трудно идентифицировать. **Фронтальная нисходящая миграция ВОВ** в супесях постепенно достигнет и контактно-глеевого (в классификации он назван не совсем правильно контактно-осветленным) горизонта, и он во влажные сезоны (дождливое лето) будет завуалирован ВОВ. Тогда почвоведы ошибочно такую почву диагностируют как **дерново-подзолистую со сверхмощным гумусовым горизонтом** (такое обозначение можно встретить у **И.П. Гречина, 1957**), что некорректно. Другая экологическая ситуация. В сухой и жаркий летний сезон компоненты ВОВ и Fe-органические соединения очень активно биodeградируют (микроорганизмы весьма активны). Профиль в данной ситуации *расцветчивается нативной гаммой цвета*: очень четко выделяется подзолистый горизонт и иллювиально-железистый за счет разрушения органоминеральных соединений Fe. **Эти признаки видны на фото 3**. Но самое интересное, что со временем подзолистый горизонт под лесной подстилкой смыкается с контактно-оглеенным. Тогда профиль почвы в этот сезон *на двучленах имеет сверхмощный подзолистый горизонт*, опускающийся до тяжелого суглинка. В принципе никакой новой почвы здесь нет, происходит **сезонная динамика ВОВ и соединений железа**. Эти особенности и нужно использовать при классификации почв. **Не надо выдумывать** новых почв, а ввести новый таксон на уровне рода «**сезонно-гумусированная**». Следует заметить: типов почв в природе очень мало (фото И.М. Яшина, 2006).



А

В

Рис.4. Генетический феномен, относящийся к Соловкам. **А** – около западной стены Соловецкого Кремля, в траншее, **диагностирован стратозем** (искусственная насыпная почва). Здесь супесчаный белесый субстрат залегает на тепловом экране, состоящим из органического материала: **опилок, окорки и мхов**. **В** **таком профиле много валунчиков и камней**. Копать очень трудно. Нужно помнить, что в экологических условиях северной тайги выращивание основных овощных культур без укрытия и обогрева невозможно. Здесь летом часто бывают заморозки и сильные холодные ветра, выхолаживающие почвы и грунты. Монахам удается в отдельные годы выращивать «зеленые культуры» на весьма *небольших грядках внутри Кремля*. Почву они составляют из трех компонентов: **песка, торфа и золы**. **В** – профиль так называемой «**пирогенной почвы**», испытавшей грандиозный пожар в начале 20-х годов прошлого столетия. Профиль заложен недалеко от западной стены Соловецкого Кремля. Мощный горизонт крупных древесных углей является активным **сорбционным барьером** миграции. Поглощенные им вещества могут поведать много интересного о генезисе сгоревших материалов (нужно иметь только соответствующие приборы). Профиль испытал длительное воздействие высоких температур. Химические элементы здесь находятся в неактивной форме – в виде оксидов; а грунт почти спекшийся. Диагностировать данное образование следует **как почвоподобное тело** (фото И.М. Яшина, 2004).

Научное издание

**Яшин Иван Михайлович,
Кашанский Анатолий Данилович**

**Ландшафтно-геохимическая диагностика и
генезис почв Европейского Севера России**

**Научный редактор – профессор Яшин И.М.
Компьютерный набор – Яшина М.И.**

**Отпечатано с готового оригинал-макета в авторской редакции.
Перепечатка без разрешения авторов запрещена.**

ИД № от 27.07.2015

Подписано в печать 27.07.15

Формат 1/16

Гарнитура «Таймс»

Бумага офсетная

Печать офсетная

Усл. печ.л. 11,8

Уч.-изд.л.

Усл. кр.-отт.

Тираж 500 экз.

Изд. № 36

Заказ №

АНО «Издательство РГАУ-МСХА»
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 44