

**И.М.ЯШИН, И.И. ВАСЕНЕВ, Р.А. АТЕНБЕКОВ**

# **ПУТЕВОДИТЕЛЬ**

**ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСКУРСИИ ПО ЛЕСНОЙ  
ОПЫТНОЙ ДАЧЕ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА**

**(для участников Международной летней экологической школы)**



**Москва/Moscow 2016**

**Российский государственный аграрный университет - МСХА  
имени К.А. Тимирязева  
Докучаевское общество почвоведов  
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)**

**И.М.ЯШИН, И.И. ВАСЕНЕВ, Р.А. АТЕНБЕКОВ**

# **ПУТЕВОДИТЕЛЬ**

**ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСКУРСИИ ПО ЛЕСНОЙ  
ОПЫТНОЙ ДАЧЕ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА**

**(для участников Международной летней экологической школы)**

**Москва  
Moscow, Russia  
2016**

УДК: 631.48/455

**И.М. Яшин, И.И. Васенев, Р.А. Атенбеков.** Путеводитель почвенно-экологической экскурсии по Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Международной экологической школы. Москва. 2016. - 55 с.

**Рецензент:** профессор кафедры почвоведения РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, профессор В.И. Савич.

Материалы, представленные в Путеводителе, знакомят экскурсантов Международной экологической школы с почвами и ландшафтами Лесной опытной дачи (ЛОД) Российского государственного аграрного университета. ЛОД – это старейший учебно-научный полигон университета, в котором мониторинговые (и стационарные) исследования проводят лесоводы, экологи, почвоведы, геологи, зоологи, орнитологи и микробиологи. Еще в 1863 году известный лесовод Варгас де Бадемар впервые провел таксацию насаждений ЛОД. В последние годы здесь осуществляются инновационные наблюдения по эмиссии CO<sub>2</sub> с использованием прибора Li-COR на «вышке». Участникам экскурсии будут представлены демонстрационные *разрезы дерново-подзолов контактно-осветленных супесчаных на двучленных отложениях в лесопарковых экосистемах мегаполиса Москвы*. Охарактеризованы их генезис, свойства, эволюция и экологические риски по результатам длительных исследований. *Во время полевой экскурсии по Лесной опытной даче с участниками Экологической школы будут обсуждены актуальные вопросы классификации, диагностики, генезиса и охраны почв, а также методы экологического мониторинга на ЛОД.*

**На обложке:** профиль дерново-подзола контактно-осветленного супесчаного на двучленных отложениях **ранней весной** в фации сосны ЛОД; четко видно, что *иллювиально-железистый горизонт микроподзола маскирован «потечным гумусом»*, поэтому диагностировать данный ложный гумусовый горизонт в качестве гумусово-аккумулятивного горизонта *A<sub>1</sub>* некорректно; фото И.М. Яшина (2009).

ISBN

© Яшин И.М., Васенев И.И., Атенбеков Р.А., 2015  
© РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ (Contents)

<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1. Общие сведения</b> о ландшафтах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА	
1.1. Краткие сведения об истории объекта.....	6
1.2. Особенности климата.....	7
1.3. <i>Геологическое строение территории</i> .....	8
1.4. Растительность.....	8
1.5. Почвы, почвообразующие и подстилающие породы.....	9
<b>Глава 2. Полевая почвенная экскурсия по ЛОД</b> .....	10
2.1. Морфология, генезис и диагностика почв на двучленных породах.....	10
2.2. Химические свойства почв экологической катены.....	12
<b>Глава 3. Применение метода сорбционных лизиметров для оценки водной миграции продуктов почвообразования и ионов тяжелых металлов</b> .....	17
3.1. Конструкции сорбционных лизиметров.....	18
3.2. Использование сорбционных лизиметров для оценки миграции веществ...19	
3.3. Эко-геохимическая <b>оценка загрязнения</b> Лесной опытной дачи.....	23
3.4. <b>Методологии оценки</b> загрязнения почв и экосистем.....	24
3.5. <b>Параметры оценки активных форм мигрантов</b> .....	27
3.5.1. <b>Определение масштаба миграции</b> .....	28
3.5.2. <b>Установление средней линейной скорости миграции</b> в почве.....	32
3.5.3. <b>Оценка коэффициента водной миграции</b> .....	34
<b>Глава 4. Экологическая оценка динамики качества вод малых рек и реки Москвы в пределах столичного мегаполиса</b> .....	37
<b>Выводы</b> .....	56
<b>Глоссарий</b> .....	59
<b>Литература</b> .....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Маршруты Полевой почвенно-экологической экскурсии Международной экологической школы проходят в лесопарковых экосистемах ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. *Фактическая информация в Путеводителе о почвах и фациях* подготовлена профессорами кафедры экологии И.М. Яшиным, И.И. Васеневым и соискателем Р.А. Атенбековым. При стационарном изучении почв и почвенного покрова ЛОД участвовали аспиранты А.А. Петухова, П.В. Кузнецов, А.А. Пескарев, Байерта Буринова и студенты-экологи кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева – Михаил Осыкин, Роман Гусаим, Артур Кашаев и Дмитрий Кружалин.

Экологический мониторинг состояния фаций и почв сотрудниками кафедры экологии проводится с 1994 г. под руководством профессора И.М. Яшина, а с 2005 г. профессором И.И. Васеневым (по грантам РФФИ и Правительства РФ).

Почвы и фации ЛОД в 50-80-х годах прошлого столетия активно изучали сотрудники и аспиранты кафедр почвоведения и лесоводства: профессора *И.П. Гречин, И.С. Кауричев, В.И. Савич, Н.Ф. Ганжара, В.П. Тимофеев, Л.В. Мосина, доценты А.Д. Кашанский, Н.А. Поляков* и другие. В 2009 году вышла монография «145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» под редакцией В.Д. Наумова. В ней обобщена почвенно-экологическая информация по ландшафтам ЛОД, представлены исторические хроники.

Во время полевой почвенно-экологической экскурсии будут обсуждаться следующие вопросы:

1. Экологическое состояние, генезис и охрана почв и фаций ЛОД;
2. Химические свойства дерново-подзолов контактно-осветленных, развитых на двучленах, и экологические риски в экосистемах ЛОД;
3. Эволюция и деградация почвенного покрова ЛОД;
4. Диагностика и трансформация барьеров миграции в почвах на двучленах ЛОД.
5. Исследование водной миграции веществ (включая и экотоксиканты) в почвах ЛОД с помощью метода сорбционных лизиметров при мониторинге.

Почвенно-экологические исследования и морфологическое описание профилей почв в катене выполнены профессорами И.М. Яшиным, И.И. Васеневым. Индексировка основных генетических горизонтов и названия почвенных типов даны по книгам «Классификация и диагностика почв» (1977); «Классификация почв России» (2004); классификация ФАО ЮНЕСКО (Почвенная карта Мира, 1990).

Химические анализы выполнены аспирантами в сертифицированной лаборатории по стандартным методикам. Гранулометрический состав – по

Качинскому; гумус – по Тюрину; рН – потенциометрически; микроэлементы и ионы тяжелых металлов – на атомно-абсорбционном спектрофотометре.

Фото сделаны И.М. Яшиным фотоаппаратом Nikon COOLPIX P90.

На Международной экологической школе занятия будут проводиться по Программе следующим образом. Вначале студентам представляется лекционный курс по экологическим проблемам. Затем семинары и круглые столы. Закрепление нового учебного материала проводится на практических занятиях и полевой экскурсии. Планируется провести две экскурсии. Одна – на Лесную опытную станцию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Другая – в агроландшафты акционерного общества «Дружба» Переславль-Залесского района Ярославской области. Наряду с учебными занятиями запланированы спортивные мероприятия, посещение Музеев и другое.

### Глава 1. Общие сведения о фациях и почвах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (краткие сведения по истории объекта)

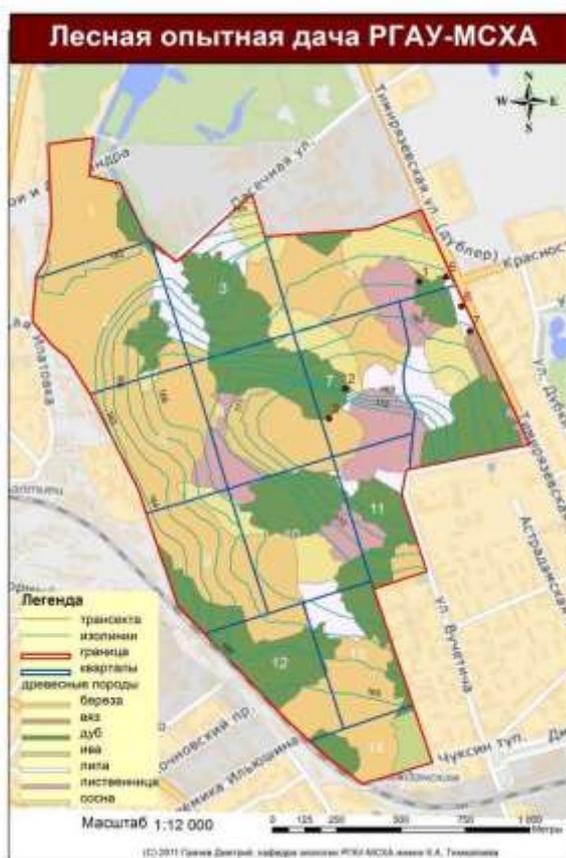


Рис. 1. Карта-схема Лесной опытной дачи (М 1: 12 000) и ключевые участки снеговой съемки в конце марта 2011 г. (№ 1-3, 5-7) – автор карты Д.А. Грачев (2010).

Еще в 1863 году известный лесовод **А.Р. Варгас де Бедемар** впервые провел таксацию и составил карту насаждений ЛОД, которая находится в 7 км от Московского Кремля. Массив Лесной опытной дачи площадью **243 га** – один из старейших в Европе. Причем ЛОД играет важную роль в обучении

студентов и проведении научных исследований. Растительный покров ЛОД активно очищает воздух от пыли, частиц пыли и золы, поглощает анионы сильных минеральных кислот. На ЛОД функционирует 152 пробные площади. Лесотаксационная оценка древостоя ЛОД проведена выдающимися лесоводами - М.К. Турским, Н.С. Нестеровым, В.Т. Собичевским, В.П. Тимофеевым, А. Н. Поляковым. Среди древесных пород преобладают участки, занятые *лиственницей, сосной, дубом, березой и липой*. Подчиненное значение имеют *клен, козья ива, белая ольха*. Они формируют подлесок. Насаждения сосны отмечены в 138 пробных площадях. Ель встречается весьма редко. Отмечены *ветровалы и выпады деревьев*, характерные для почв на двучленах.

Во время Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. на территории ЛОД располагались аэродромные площадки, блиндажи и траншеи, противотанковые рвы. Поэтому почвенный покров здесь нередко трансформирован, а двучленные породы также заметно изменены, и не всегда поддаются точной диагностике. Известно, что на контакте смены пород (*песчано-супесчаного чехла и подстилающего тяжелого суглинка*) залегает мощный белесый горизонт с включениями гальки и щебня (очень плотный). Его присутствие нередко для почвоведов порой труднообъяснимое, поскольку традиционно *подзолистый горизонт залегает под лесной подстилкой*. К тому же подзолистый горизонт под лесной подстилкой периодически (по сезонам года) **вуализуется** мобильными формами органических лигандов и комплексными органоминеральными соединениями. Его мощность увеличивается до 34-43 см. Впервые подобный феномен был отмечен В.О. Таргульяном (1974). Позднее его подтвердил и Л.О. Карпачевский (1978). Объяснил же данный процесс с экологических позиций И.М. Яшин (1993,2006,2013) путем постановки серийных лизиметрических опытов. Генезис подзолистых почв на двучленных породах все еще изучен неполно. А в учебниках по почвоведению имеются лишь общие рассуждения. Специалистов по двучленам в России немного. Следует отметить интересные и крупные обобщения, выполненные по почвам на двучленных породах Б.Ф. Апариным (1972), И.Я. Забоевой (1973), А.Д. Кашанским (1972), Л.А. Варфоломеевым (1974), В.Д. Тонконоговым (1988) и И.М. Яшиным (2004, 2013). Вообще двучлены на Европейском Севере РФ распространены очень широко. Их давно исследуют сотрудники института биологии Коми филиала СО РАН (г. Сыктывкар).

**Крупномасштабное почвенное картирование** в фациях ЛОД были выполнены под руководством С.К. Соловьева, И.П. Гречина (1955-1957) с составлением почвенной карты. Картографическая основа была без горизонталей, поэтому границы контуров почв выделены не всегда правильно – перпендикулярно к горизонталям. В 60-80 гг. прошлого столетия под руководством И.С. Кауричева осуществлены фундаментальные работы, связанные с изучением генезиса почв, гумусообразования и водной миграции веществ. Здесь следует отметить новаторские и поисковые изыскания Н.Ф.

Ганжары, А.Д. Фокина, А.Д. Кашанского, Л.К. Комаревцевой, И.М. Яшина, Л.В. Мосиной и других. С 2005 года к изучению пестроты почвенного покрова ЛОД приступил И.И. Васенев с аспирантами.

Среди монографических работ по Лесной опытной даче отметим две. Первая – это труд В.П. Тимофеева, изданный в 1964 «Итоги экспериментальных работ Лесной опытной дачи ТСХА за 1862-1962 гг.». И вторая – книга В.Д. Наумова и А.Н. Полякова «145 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», изданная в 2009 году.

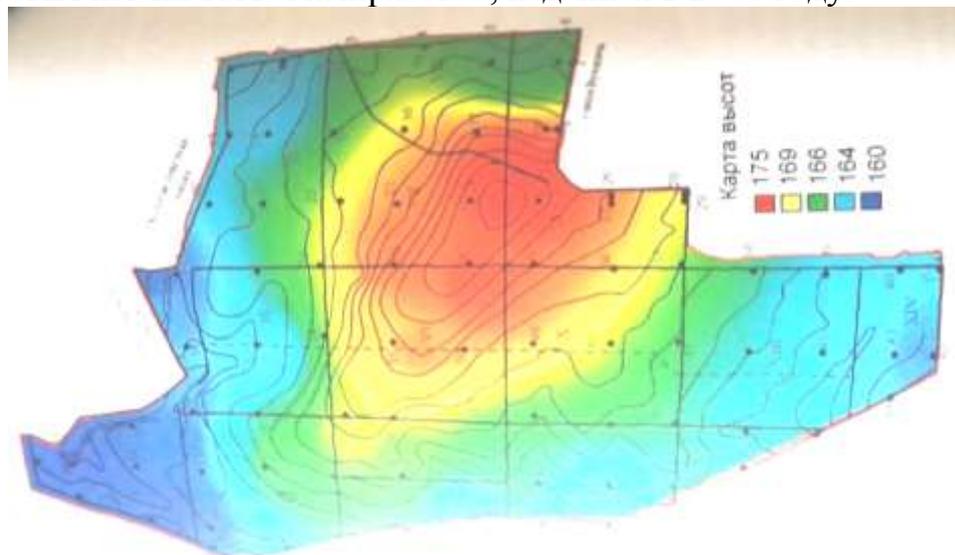


Рис. 2. Гипсометрическая карта-схема территории ЛОД; перепад высот около 15 м (автор Д.А. Грачев, 2005).

Рассмотрим *особенности климата ЛОД*. Одной из его характеристик является прозрачность атмосферы для солнечной радиации. За последний сорокалетний период в Москве интегральный коэффициент прозрачности атмосферы *уменьшился примерно на 4%*. Балл же общей и нижней облачности увеличился на 10% и 17%. При этом над Москвой происходит заметное *увеличение количества осадков до 190-240 мм* (при среднем количестве 610 мм в Подмосковье), что способствует удалению экотоксикантов из атмосферы. Максимальное количество осадков приходится *на август и октябрь*, минимальное – на апрель. В последние годы существенно выросла *общая минерализация осадков* и содержание в них *сульфатов* вследствие увеличения числа автомобилей в городе. Абсолютный минимум температуры воздуха составляет - 42С<sup>0</sup>, а абсолютный максимум + 37С<sup>0</sup>. Поздние заморозки отмечены в июне, а в мае нередко снегопады и гололед. Высота снежного покрова на ЛОД достигает 34-42 см.

*Геологическое строение территории ЛОД* в пределах г. Москвы. Кристаллический фундамент горных пород залегает на глубине около 2 км и сложен гнейсами, гранитами, железистыми кварцитами и разбит глубинными разломами на многочисленные блоки. Отмечены мощные слои

осадочных пород, в том числе и  $CaCO_3$  — ловушек нефти и газа. Первый от поверхности горизонт грунтовых вод залегает на глубине от 3-5 до 10-11 м. На территории г. Москвы наиболее опасными геодинамическими процессами являются карстово-суффозионные и суффозионные явления. Около 50% территории Москвы находится в районах геологического риска.

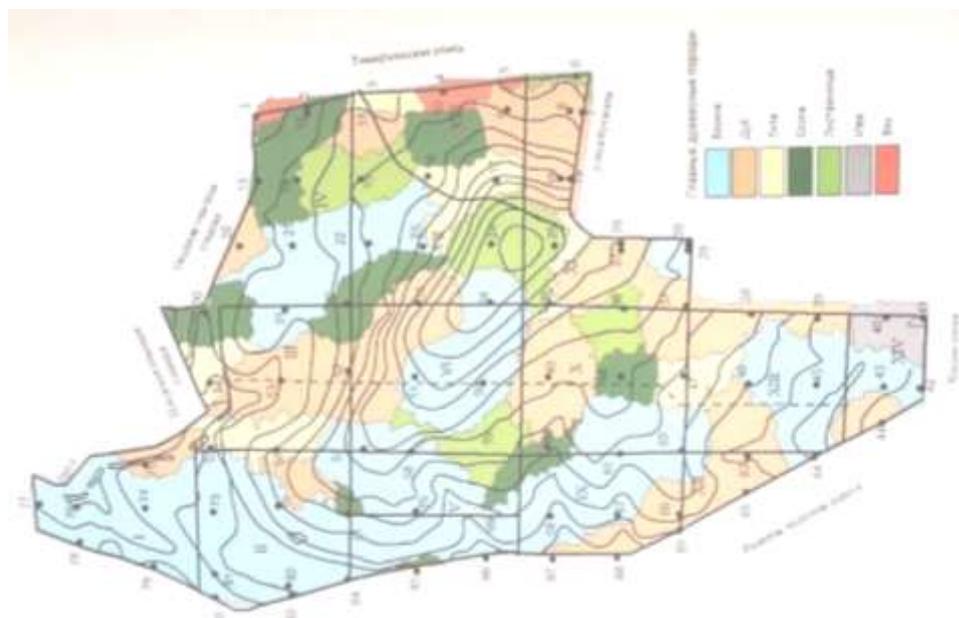


Рис. 3. Карта-схема растительных сообществ ЛОД; перепад высот около 15 м (автор Д.А. Грачев, 2005).

Основу системы озеленения г. Москвы составляют 17 лесопарков, 17 городских, 58 районных и 9 специализированных парков. 14 садов, около 700 скверов и 100 бульваров. Природная растительность города сохранилась в виде отдельных фрагментов естественных сообществ — «Лосиный остров», «Битцевский лес», «Серебряный бор» и др. Несмотря на высокие техногенные и рекреационные нагрузки еще сохранились типичные зональные и уникальные природные комплексы.

*Географически территория ЛОД* расположена на макроводоразделе рек Яузы и Москвы-реки с абсолютными отметками высот 160–175 м над у.м. Рельеф представлен сильно сглаженными мореными холмами и древними долинообразными ложбинами стока. *Почвообразующие породы* - бескарбонатная сильнокаменистая тяжелосуглинистая морена, покровные суглинки и двучленные породы: супеси подстилаются суглинками.

Морфологию почв исследовали путем закладки серий разрезов (катен). Фации и почвенный покров ЛОД изучены достаточно полно: И.М. Яшин в 1995-2005 гг. проводил на ЛОД полевую учебную практику со студентами-экологами по ландшафтоведению.

## Глава 2. Полевая почвенно-экологическая экскурсия по ЛОД

### 2.1. Морфология, генезис и диагностика почв

Полевая диагностика почвенных горизонтов, в известной мере, определяет генетическую оценку почвы, дополняемую результатами лабораторных химических анализов.

Морфологические признаки почв могут быть объединены в **3 группы**:

1-я включает те из них, которые *приурочены к отдельным горизонтам*,

2-я – признаки, *рассеянные по всему профилю* и

3-я – признаки, охватывающие *какую-то часть профиля*, и не совпадающие с границами горизонтов, например, по химическим свойствам.

На основании сказанного Б.Б. Польшов (1951) предложил метод, основанный на расчленении почвенного профиля на составляющие *его субпрофили*.

*Двучленное строение профилей почв, характерное для территории ЛОД*, включает верхний песчано-супесчаный «чехол» и тяжелосуглинистый нижний слой, которые соприкасаются *в пределах первого метра* через четко выраженный контактно-осветленный (контактно-оглеенный) горизонт **EL'g**. Именно *субпрофиль супесчаного подзола* с горизонтами **A<sub>0</sub>**, **E<sub>h</sub>** и **B<sub>f</sub>** испытывает в современный период активное биогеохимическое воздействие таежной биоты и продуктов ее жизнедеятельности. Он периодически (весной и осенью) прокрашивается миграционными компонентами водорастворимыми органическими веществами (ВОВ) и органоминеральными соединениями Fe, Mn - *«потечным гумусом»*. Данный процесс в альфе-гумусово-железистых подзолах Европейского Севера впервые отметил В.О. Таргульян и назвал его эффектом *«гумусовой занавески»* (1974). Наряду с естественными органическими кислотами на субпрофиль подзола воздействуют и *продукты антропогенеза*, в частности, «кислотные дожди».

Развивая идеи В.В. Докучаева, Б.Б. Польшов и российские специалисты предложили классифицировать горизонты почв *на субстантивные и генетические*. Первые выделяются исходя из особенности их химического состава, свойств и структурной организации почвенных масс, вторые – с учетом генезиса.

Последний методологический подход был предложен еще В.В. Докучаевым: генезис и свойства почвы рассматривались в виде сложной функции, зависящей от пяти факторов почвообразования. В дальнейшем эта концепция была дополнена известной триадой И.П. Герасимова: *факторы - почвенные процессы - свойства почвы*.

Ландшафтно-субстантивная оценка почв была положена в основу фундаментальной *американской классификации почв*. Этот принцип также был использован в новой почвенной классификации России 2004 года, которая пока не утверждена, но активно обсуждается. Отметим,

субстантивная диагностика *улучшает стандартизацию морфологических признаков и горизонтов при полевой почвенной съемке*. Однако такой подход у почвовед-полевика, картирующего почвенный покров, должен дополняться пониманием ландшафтной ситуации.

Почвенно-экологическое картографирование ряда кварталов (фаций) ЛОД в М 1: 500, выполненное авторами, показало, что **на пестроту почвенного покрова** большое влияние оказывают генезис почвообразующих пород, рельеф, ветровалы, вырубки, характер насаждений и масштабные антропогенные нагрузки (выпадения пыли, сажи, аэрозолей «*кислотных дождей*» и другие).

Особенности сезонной динамики морфологических признаков некоторых типов почв ЛОД рассмотрим на примере *почвенного разреза № 10*, заложенного *11.07.1996 г.* в квартале 7, пробная площадь «Ф». Посадка лиственницы. Возраст 50–60 лет. Напочвенный травянистый покров очень редкий: голокучник Линнея, вороний глаз, звездчатка жестколистная, седмичник и майник.

*Мезорельеф* — середина пологого склона сильно выположенного мореного холма северной экспозиции. *Микрорельеф* — приствольные повышения, западинки.

**A<sub>0</sub>** 0–1 (1 см) слаборазвитая, рыхлая, бурая лесная подстилка,

**A<sub>1</sub>** 1–15 (14 см) свежий, рыхлый, неоднородно окрашенный: темно-серый с редкими белесыми пятнами во влажном состоянии (и белесо-светло-серый в сухом), супесчаный, непрочный мелкокомковато-плитчатый, гнездами копролиты червей, интенсивно пронизан корнями, редко угольки, пропитан «*потечным гумусом - компонентами ВОВ*», очень редко кротовины, редкие камни, переход волнистый по цвету,

**E<sub>(hg)</sub>** 15–25 (10 см) свежий, белёсый с мелкими сизоватыми пятнами и серыми затеками, супесчаный, непрочный плитчатый (на изломе мелкие 1-2 мм Fe-Mn конкреции), слабо уплотненный, «**гнезда**» Fe-Mn конкреций размером не более 3 мм в диаметре, эти конкреции хаотично разбросаны по горизонту, дресва и редко камни, отдельные крупные корни, переход размытый и волнистый,

**B<sub>fh</sub>** 25–44 (19 см) влажный, охристый с серыми пятнами и затеками ВОВ, песчаный, бесструктурный, рыхлый, локально сцементирован сегрегированными коллоидами Fe и уплотнен, псевдофибры Fe в виде тонких - до 3,5мм линз, единичные крупные корни и камни, переход ясный по цвету и плотности,

**EL'<sub>g</sub>** 44–58 (14 см) *контактно-осветленный горизонт*: влажный до сырого (после дождей), сизовато-белёсый, тяжелосуглинистый, заметно опесчаненный, плотный, крупно плитчатый, аморфные формы Fe, Si и Mn, липкий, **много мелких камней, щебня**, копается с трудом, переход волнистый,

- Bg** 58–100 (42 см) сырой, красновато-бурый с большим количеством тонких (искривленных и белёсых) «языков» в слое **58-64 см**, опускающихся из верхнего гор. **EL<sub>q</sub>**, тяжелосуглинистый, тонкопористый, крупно-ореховато-призматический, липкий и вязкий, очень плотный, по граням структурных отдельностей бурая лакировка и примазки, валунчики и камни, редко крупные корни до глубины 62 см, переход постепенный, копается с очень большим усилием, (это сорбционный барьер и водоупор); водная миграция здесь идет не фронтально, а локально – по трещинам,
- BC(g)** 100–167 (67 см) сырой, красно-бурый, тяжелосуглинистый (заметно опесчаненный), глыбистый, очень плотный (до слитого), отдельные сизовато-белесые языки, опускающиеся из гор. **EL'g**, крупные камни и редко валунчики, редко пятна оглеения, копается с очень большим усилием. Мелкозем *не вскипает* от 10% раствора HCl по всему почвенному профилю. Вода постепенно появляется с глубины **167 см**.

**Почва:** дерново - подзол контактно-осветленный сезонно-гумусированный<sup>1</sup> супесчаный на двучленных отложениях.

Морфологические признаки такой почвы ЛОД в динамике изучали в летний и в осенне-зимние периоды 1997-2010 гг. Ниже приведены наиболее характерные изменения в морфологии субпрофилей песчаных подзолов. Так, в 1-й декаде марта 2003 г., когда еще лежал снежный покров (мощностью **38 – 42 см**), рядом с *разрезом № 10* был выкопан *новый почвенный разрез* и взят микро монолит мощностью **37 см**. В поле, а также в лаборатории - после подсыхания микро монолита - изучены морфологические признаки. Почва - не замерзшая. Вот ее морфологические признаки.

**A<sub>0</sub>** 0-2 (2 см) - бурая, рыхлая, ненарушенная лесная подстилка, мелкие веточки.

**A<sub>1</sub>** 2-9 (7 см) – светло серовато-белесый, супесчаный, рыхлый, непрочно-комковато-плитчатый, корни растений и угольки, Fe-Mn мелкие конкреции; весной они трансформируются в коллоиды-пленки гидрогеля Fe(OH)<sub>3</sub>, на которых и сорбируются миграционные формы ВОВ; как и нижележащий горизонт – это слой пропитан «потечным гумусом», переход постепенный по цвету; его мощность достоверно уменьшилась с 15 до 9 см.

**E<sub>hg</sub>** 9-24 (15 см) - белесый с очень слабым сероватым оттенком на глубине 12-15см, супесчаный, рыхлый, плитчато-пластинчатый, много Fe-Mn мелких конкреций (до 1,5 мм), которые ранней весной трансформируются в коллоиды Fe(OH)<sub>3</sub>, редко мелкие камни, переход постепенный по цвету.

**B<sub>f</sub>** 24- 40 (16 см) – светло охристо-бурый, супесчаный, рыхлый, локально уплотнен, непрочно-комковато - крупно-плитчатый, коллоиды Fe(OH)<sub>3</sub>

<sup>1</sup> Авторы предлагают использовать данный термин для обозначения почв с «гумусовой занавеской»: с сезонной маскировкой горизонтов **A<sub>1</sub>/E<sub>hg</sub>** и **E<sub>hg</sub>** ВОВ и органоминеральными соединениями Fe, Mn.

диффузионно пропитывают мелкозем, который в период вегетации активно сорбирует ВОВ и органно-минеральные формы Fe, Mn вследствие чего, наблюдается трансформация соединений гор. В<sub>f</sub>; переход постепенный по цвету.

**E'g** 40 - 54 (14 см) – *контактно-глеевый горизонт*: белесый, тяжелосуглинистый, плотный, тонко плитчатый, липкий и вязкий, мелкие Fe-Mn конкреции, много языковатых затеков в гор. В<sub>f</sub>.

Морфологические признаки нижних горизонтов **В, ВС и С**, отмеченные летом, остались визуально не измененными.

Почва ранней весной диагностируется как **подзол** контактно-осветленный супесчаный, развитый на двучленных отложениях. Это уже не дерново-подзол, поскольку горизонт **A<sub>1</sub>** стал менее 10 см (от 7 до 9 см).

Установлено, что после полного схода снежного покрова (19-22 апреля) верхние горизонты подзола (**A<sub>1</sub>, E<sub>h</sub> и E<sub>hg</sub>**) постепенно окрашивались в палево-белесо-серый цвет со «стальным оттенком». Интенсивность серого цвета возрастала в период вегетации и достигала максимума к середине августа. Ложный (сезонно гумусированный) горизонт **A<sub>1</sub>** имел четкие признаки гумусово-аккумулятивного. Причем, пропитка супесчаного «чехла» компонентами ВОВ (и водорастворимыми формами Fe, - Mn-органических соединений) была не фронтальной, а мозаичной и размыто-полосчатой, в частности, в слое 2-24 (31см) см. В глубь почвы миграция ВОВ происходит также по редким, изогнутым темно-серым «тяжам<sup>2</sup>» 1,5-2,4см в диаметре (длинной 42-54см) и по ходам редких белесых «языков», достигающих глубины 154-167 см. Указанные особенности морфологии почв косвенно свидетельствуют об активной физико-химической трансформации веществ на барьерах миграции в осенне-зимний период с участием ВОВ.

**Глеевые горизонты** типичны для горизонтов почв и пород, в которых наблюдается резкая смена окислительной обстановки анаэробной. Они обнаружены в почвах северо-восточной части ЛОД. Оглеение в почвах ЛОД наблюдается и в нижних частях склонов холмов. Развитие оглеения связано с наличием доступных форм органических веществ, анаэробных микроорганизмов и дефицита молекулярного кислорода. На глеевом барьере осаждаются анионы **AsO<sup>3-4</sup>, PO<sup>3-4</sup>**, а также селен. Здесь отмечается масштабная мобилизация и диффузионная форма миграция ионов железа и марганца при активном участии ферментов микрофлоры и компонентов ВОВ. Интенсивно формируются коллоидные системы **Si, Fe, Al, Mn**. Глеевые горизонты - прекрасные естественные водоупоры. Своеобразным глеевым горизонтом в фациях ЛОД является *контактно-осветленный горизонт **EL'g*** в подзолах с двучленным строением профиля.

---

<sup>2</sup> Следует отметить, что это не ходы сгнивших корней. В плотных гор. **Bg** и **BCg** корней не обнаружено.



Рис. 4. Плакор ЛОД. Профиль дерново-подзола контактно-осветленного супесчаного, развитого на двучленных отложениях, ранней весной. Отчетливо **заметна вуализация** охристого иллювиально-железистого горизонта миграционными компонентами *ВОВ*; наряду с этим четко выражены белесые «языки», внедряющиеся в гор. *В*; соискатель Р.А. Атенбеков перед установкой сорбционных лизиметров (фото И.М. Яшина, 2016).

В отличие от верхних горизонтов **оглеение и оподзоливание** в указанном горизонте (**внутри почвы**) имеет физико-химическую направленность: оно развивается в основном с участием *компонентов ВОВ - восстановителей*. Образующиеся в *горизонте  $EL'_g$*  коллоиды (гидрозоли гидроксидов железа, марганца, кремния и алюминия), в период иссушения верхних слоев почвы, могут мигрировать *с восходящим потоком влаги*, по капиллярам, и выпадать в осадок в гор.  **$V_{th}$  и  $E_{hg}$** . В дальнейшем именно на них сорбируются при нисходящей миграции *ВОВ*, **маскируя** характерный охристо-бурый иллювиально-железистого и белесый подзолистого горизонтов (см рис.2,3). По-видимому, подобная восходяще-нисходящая пульсация соединений Fe, Mn, Al (под защитой *ВОВ*) в супесчаном чехле подзолов, в известной мере, отражает *проявление лессиважа*. Величины  **$pH_{KCl}$**  верхних генетических горизонтов, определенные *в августе*, находились в пределах 3,0–4,4 и характеризовались очень сильнокислой реакцией. Подобная ситуация отмечена для всех 8-ми изученных профилей. Наиболее высокие значения  **$pH_{KCl}$**  обнаружены в гор.  **$A_1$ ,  $E_{hg}$** . Вглубь по профилю эти величины незначительно уменьшаются. Высокая степень

кислотности связана, на наш взгляд, с присутствием ВОВ кислотной природы, *соединений алюминия и марганца*, а также сильных минеральных кислот, поступающих в виде «кислотных дождей» (табл.1,2). Следствием подобной ситуации является интенсивное выщелачивание из почв обменно-поглощенного кальция с замещением *его ионами алюминия и водорода*; отмечается трансформация гуматно-фульватного состава гумуса в фульватный.



Рис.5. Один из миграционных «тяжей», опускающийся из верхнего гумусово-аккумулятивного горизонта в гор. ВС; *механизм формирования* таких «тяжей» в профилях почв, развитых на двучленных породах, **не ясен и не изучен** (фото И.М. Яшина, 2009).

## 2.2. Химические свойства почв катены ЛОД

Табл. 1. Изменение *величин рНксл* по горизонтам подзолов контактно-осветленных супесчаных, развитых на двучленных отложениях ЛОД РГАУ-МСХА. Отбор почвенных образцов - 5 августа (в табл. 2, 3 те же сроки отбора проб почвы).

Квартал на ЛОД	Пробная площадь	Ориентировочный возраст насаждений, лет	Горизонты (барьеры миграции) почв		
			A <sub>1</sub> , 2-12 см	E <sub>hg</sub> , 25-35 см	ELg/B (EL'g) 50-60 см
7 (сосна)	«Р»	34	3,5±0,5	3,0±0,7	4,5±0,1
8 (лиственница)	«В»	<b>40</b>	<b>3,0±0,4</b>	<b>3,2±0,2</b>	<b>4,6±0,2</b>
8 (дуб)	«М»	52	3,4±0,3	3,4±0,2	4,7±0,3
8 (сосна)	«Л»	83	3,2±0,4	3,3±0,5	4,8±0,1
11 (сосна)	«Г»	109	3,3±0,3	3,6±0,3	4,6±0,2
5 (лиственница)	«Ж»	<b>115</b>	<b>3,2±0,1</b>	<b>3,4±0,1</b>	<b>4,8±0,1</b>
10 (лиственница)	«А»	<b>117</b>	3,5±0,5	3,4±0,2	4,6±0,3
7 (сосна)	«П»	<b>122</b>	<b>4,4±0,3</b>	<b>4,0±0,1</b>	<b>4,9±0,1</b>
<b>Среднее при n= 8</b>		$\bar{x}$	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>	<b>4,7</b>

наблюдается кислотный гидролиз вторичных минералов и вынос новообразованных продуктов с гравитационной влагой в глубь почвы. На участках ЛОД *вблизи автодороги*, при усилении пылевой нагрузки, величины

pH колеблются от 5,4 до 5,9. Сумма поглощенных щелочноземельных оснований ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ) в изученных почвах невысокая и лишь в почвах кварталов 10 и 7, на *старовозрастных посадках* лиственницы и сосны, достигает 6-12 мг-экв/100 г почвы (табл.2). Карбонаты кальция залегают глубже 1,5м и в процессах современного почвообразования активного участия не принимают.

Табл. 2. Определение суммы щелочно-земельных оснований ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , мг-экв./100 г почвы) в подзолах контактно-глееватых, развитых на двучленных отложениях в ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Квартал ЛОД	Пробная площадь	Возраст насаждений, годы	Горизонты почв		
			A <sub>1</sub> (2-12 см)	E <sub>hg</sub> (25-35 см)	ELg/B(EL'g) (50-60 см)
7 (сосна)	«Р»	<b>34</b>	<b>3,38±0,97</b>	<b>3,47±0,74</b>	<b>4,94±1,43</b>
8 (лиственница)	«В»	40	1,74±0,82	2,23±0,53	1,17±0,26
8 (дуб)	«М»	52	3,11±0,49	1,00±0,25	0,57±0,21
8 (сосна)	«Л»	83	2,25±0,44	0,78±0,19	1,30±0,27
11 (сосна)	«Г»	109	1,31±0,19	0,64±0,14	0,22±0,23
5 (лиственница)	«Ж»	<b>115</b>	3,68±0,67	0,36±0,09	0,86±0,23
10 (лиственница)	«А»	<b>117</b>	<b>6,21±3,14</b>	<b>1,49±0,77</b>	<b>1,36±0,29</b>
7 (сосна)	«П»	<b>122</b>	<b>12,00±3,17</b>	<b>5,35±3,24</b>	<b>3,62±0,29</b>
Среднее значение при n = 8		$\bar{x}$	4,21	1,92	1,76

Табл. 3 . Содержание гумусовых веществ ( $C_{\text{орг}} \times 1,724$ ; %) в подзолах контактно-осветленных супесчаных на двучленах в ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Квартал на ЛОД	Пробная площадь	Возраст насаждений, годы	Горизонты (барьеры) почв		
			A <sub>1</sub> (2-12 см)	E <sub>hg</sub> (22-35 см)	Eg/Bg (EL'g) (50-60 см)
7 (сосна)	«Р»	<b>34</b>	<b>4,4±0,6</b>	<b>1,7±0,3</b>	0,4±0,1
8 (лиственница)	«В»	<b>40</b>	<b>6,5±0,9</b>	<b>1,6±0,2</b>	0,9±0,2
8 (дуб)	«М»	52	8,0±1,8	2,3±0,4	0,2±0,1
8 (сосна)	«Л»	83	5,4±0,7	2,1±0,4	0,2±0,1
11 (сосна)	«Г»	<b>109</b>	<b>7,0±1,4</b>	<b>1,4±0,2</b>	0,5±0,1
5 (лиственница)	«Ж»	115	6,0±0,8	1,8±0,5	0,3±0,1
10 (лиственница)	«А»	<b>117</b>	<b>7,6±0,9</b>	<b>1,1±0,2</b>	0,3±0,04
7 (сосна)	«П»	<b>122</b>	<b>4,3±0,7</b>	<b>1,8±0,6</b>	0,2±0,03
Среднее значение при n = 8		$\bar{x}$	<b>6,2</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>

Значения гидрологической кислотности  $H_g$  также высокие как в гор. A<sub>1</sub>/E<sub>hg</sub>, так и в нижних — E<sub>hg</sub>, EL/B<sub>g</sub>: 3,7-6,4 мг-экв./100 г. Почвы старовозрастных посадок лиственницы и сосны характеризуются более высокими значениями  $H_g$  (12,3-21,5 мг-экв./100 г). Этот факт генетически связан с мобилизацией в раствор из растительного опада, лесных подстилок и корневых выделений ВОВ с кислотными свойствами.

Содержание гумусовых веществ (табл.3) в гор. A<sub>1</sub> лесопарковых почв ЛОД характеризуется как очень высокое. Судя по аналитическим данным и результатам изучения миграции ВОВ, в верхних горизонтах почв ЛОД активно выражена их нисходящая миграция. Поэтому гор. E<sub>h</sub> лесных

супесчаных подзолов пропитывается компонентами ВОВ, в частности, полифенолами и органоминеральными соединениями Fe, Mn почти черного цвета, и в летний сезон диагностируется как гор. А<sub>1</sub>. В такой ситуации оценка мощности гумусового горизонта в полевых условиях завышается.

### Глава 3. Применение метода сорбционных лизиметров для оценки водной миграции продуктов почвообразования и ионов тяжелых металлов

Метод сорбционных лизиметров (МСЛ) впервые предложил и разработал профессор Тимирязевской академии И.С. Кауричев в 1959 году. Затем МСЛ детально обосновал профессор И.М. Яшин (1973, 1993, 2013). В 1989 году им было получено авторское свидетельство № 1686350. В авторский коллектив

Табл. 4. Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ в дерново-подзолах контактно-осветленных супесчаных, развитых на двучленных отложениях, в катене ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.  
Наблюдения: июнь 1992-июнь 1993 гг. (И.М. Яшин, 1998).

Генетический горизонт и глубина установки колонок, см	С <sub>орг</sub> в почве, %	Вынос С <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup> x год*		Сорбция и минерализация ВОВ в почве, %
		Верхний слой оксида алюминия	Нижний слой оксида алюминия	
<b>Плакор холма. Квартал 11. Лиственница</b>				
<b>О – 2**</b>	не опр.	<b>7,4±0,6</b>	<b>3,80±1,4</b>	не опр.
<b>A1/Eh – 22</b>	3,9±0,2	1,2±0,7	0,40±0,15	<b>85,7</b>
<b>Egh – 34</b>	0,7±0,1	0,9±0,5	0,60±0,4	не опр.
<b>EL'g – 57</b>	0,4±0,1	<b>0,2±0,1</b>	<b>0,13±0,3</b>	не опр.
<b>Подошва склона холма. Квартал 11. Дуб</b>				
<b>О – 3</b>	не опр.	<b>11,8±3,2</b>	<b>4,70±0,4</b>	не опр.
<b>A1/Eh – 24</b>	4,4±0,5	3,5±1,4	2,20±0,3	<b>65,5</b>
<b>Egh – 32</b>	0,9±0,4	1,4±0,6	1,10±0,3	не опр.
<b>EL'g – 63</b>	0,5±0,3	<b>0,6±0,5</b>	<b>0,45±0,1</b>	не опр.
<b>Середина склона холма. Квартал 11. Сосна</b>				
<b>О – 1</b>	не опр.	<b>5,3±2,0</b>	<b>2,90±0,7</b>	не опр.
<b>A<sub>1</sub>/Eh – 18</b>	2,1±0,9	3,8±1,7	0,65±0,4	<b>45,1</b>
<b>Egh – 35</b>	0,5±0,4	2,6±1,5	0,51±0,2	не опр.
<b>EL'g – 70</b>	0,2±0,1	<b>1,4±0,9</b>	<b>0,32±0,1</b>	не опр.

\*) В сорбционных лизиметрах использованы 2 слоя оксида алюминия. Повторность закладки колонок 3-4-х кратная; указаны средние величины и σ. С<sub>орг</sub> определяли в средних пробах 3-5 г оксида алюминия по методу Тюрина. В работе участвовал дипломник Зотиков В.

\*\*\*) В 1992 г. сорбционные лизиметры помогали закладывать И.Г. Платонов и Л.В. Мосина.

под руководством профессора И.М. Яшина входили: В.А. Черников, И.Г. Платонов, И.С. Кауричев и А.И. Пупонин (приоритет изобретения 28.03.1989). Данное авторское свидетельство называется: «Способ изучения трансформации органических веществ субстратов в почве». В Госреестре

изобретений СССР зарегистрировано 22.06.1991 г. Это модификация МСЛ. Рассмотрим конструкции сорбционных лизиметров (рис. 4).

### 3.1. Конструкции лизиметров инновационного типа

В лаборатории агроэкологического мониторинга (ЛАМП) кафедры экологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева усовершенствована и успешно внедрена в практику экологического мониторинга **технология сорбционных лизиметров** (Яшин И.М., Васенев И.И. (1974, 1993, 2007-2014), Мухин Е.В. (2006), Кузнецов П.В. (2011), Петухова А.А. (2012-2013), Когут Л.П. (2012-2014) и др.). Метод отличается простота, эффективность и мобильность, а также возможность их установки в труднодоступных ландшафтах Земли.

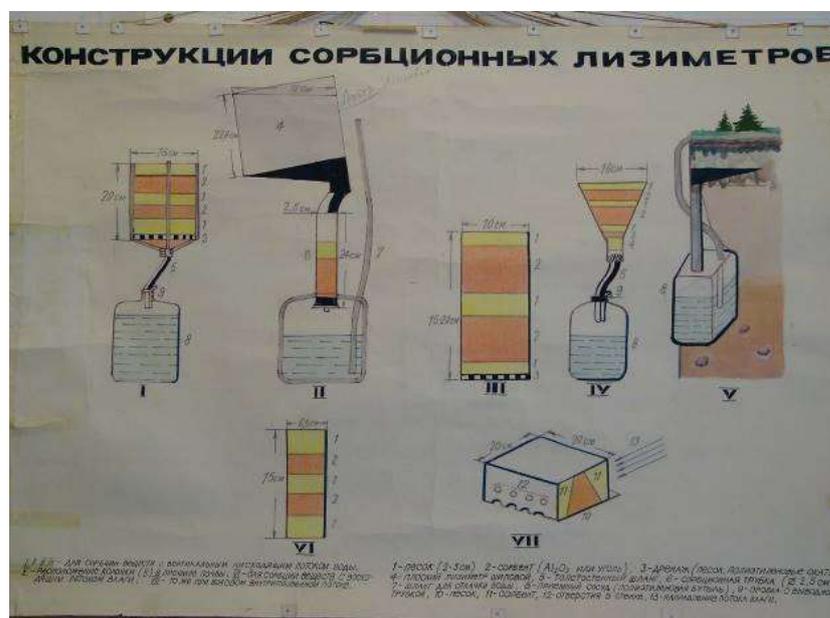


Рис. 6. Конструкции сорбционных лизиметров, наиболее широко используемых для оценки водной миграции веществ в форме ионов и молекул в почвах: I, IV – предложенные Кауричевым И.С. (1958); II, V, VI – разработка Яшина И.М. (1969-1974, 1993); III, VII – колонки для учета восходящих и боковых потоков мигрантов в почвах на двучленах, апробированные Кашанским А.Д. (1972).

**Сорбционный лизиметр** (СЛ, рис. 4) представляют собой конструкцию, состоящую из сорбционной колонки (рис. 5) со слоями химически очищенного кварцевого песка и сорбентов (в них и происходит поглощение мигрантов при их нисходящей миграции); двух вакуумных шлангов, соединяющих колонку с приемником вод и для связи с атмосферой. *Одно из достоинств СЛ - активная аккумуляция в массе сорбентов,* в том числе и **экотоксикантов**, а не только продуктов почвообразования, с последующей уверенной их диагностикой в агроэкологической лаборатории кафедры экологии (ЛАМП) с помощью инструментальных методов. Использовали следующие поглотители: низкозольный активированный уголь («карболен»),

оксид алюминия и ионообменные синтетические органические смолы (катионит КУ-2 и анионит АВ-17). Применяются и иные сорбенты, в том числе и для отдельных веществ. *Но они обычно весьма дорогие.*

### 3.2. Применение сорбционных лизиметров для оценки миграции веществ в почвах

*Сорбционные лизиметры* достаточно широко применяются при исследовании водной миграции ионов и молекул веществ как *нативного, так и антропогенного генезиса* – от северотаежных экосистем **Архангельской области** (Мезенский, Холмогорский и стационары в почвах островной дельты реки Северной Двины) до лесостепи Правобережья Среднего Поволжья и лесопарков Москвы и Петрозаводска. СЛ перспективны также для экологической *оценки водоохраннх зон рек и озер; при мониторинге почв агроэкосистем*, где вносят большие дозы органических и минеральных удобрений, в пределах промышленных хвостохранилищ, складирования



Рис.7. Сорбционная колонка, извлеченная из-под лесной подстилки в таежном лесопарке Петрозаводска: *на гифах плесневых грибов гирляндами висят* белые частицы кварцевого песка и бурые гранулы катионита КУ-2; **микроорганизмы** – источники микотоксинов, алкалоидов и низкомолекулярных органических кислот; их жизнедеятельность и есть причина динамики и больших масс ВОВ (фото Яшина И.М., 2006).

твердых отходов производств, вблизи угольных и иных терриконов. Не менее актуально использование СЛ в поймах рек, садах и огородах. Поэтому подготовка, унификация и применение конструкций СЛ в настоящее время требует уже не лабораторного, а производственного уровня с привлечением бизнеса. СЛ способны уточнить очистку воды. Чистая вода хороша для химических целей (в фармакологии) и вредна для биоты, людей.



Рис. 8. **А** – сорбционные лизиметры в почве учхоза «Дружба» Ярославской области устанавливает студент-эколог РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Кашаев Артур; **В** – студентка-дипломница Наумова Елена устанавливает СЛ в профиле деградированного подзола в лесопарковой фации **Петрозаводска** (фото Яшина И.М., 2014, 2009).

при трансформации растительных остатков в почве. Наряду с органогенными

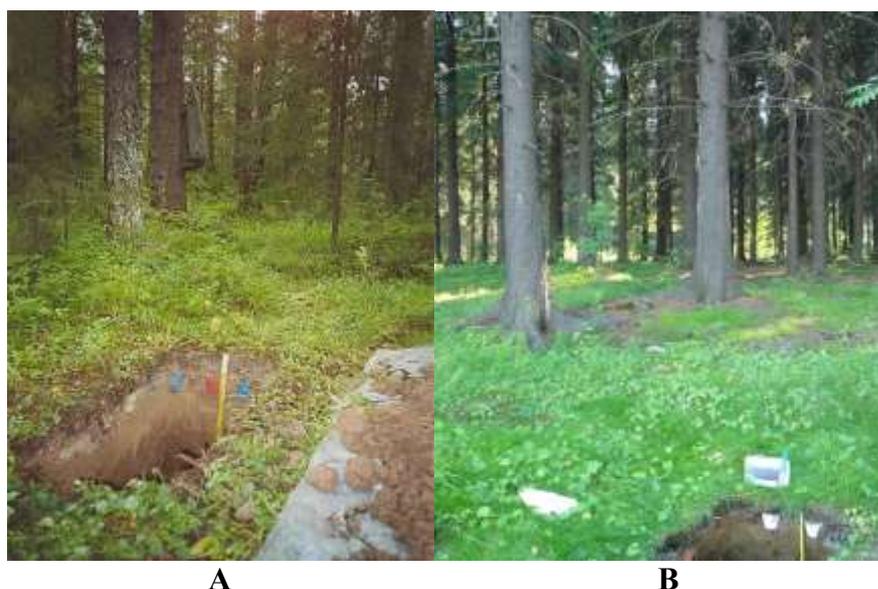


Рис. 9. **А** – сорбционные лизиметры в профиле глееподзолистой почвы стационара Музея деревянного зодчества «Малые Корелы» Архангельской области (подзона северной тайги, регион Беломорско-Кулойского плато, где в 1981 году разведаны *промышленные залежи алмазов - трубки «Пионерская»* и др., но вмещающие их горные породы заметно обогащены токсикантами Ва, V и иными); **В** - сорбционные лизиметры в почве таежной лесопарковой фации **Петрозаводска** (нижняя 1/3 склона увала, где происходит «разгрузка» латерального потока в двучленах), фото Яшина И.М. (2003, 2009).

Ранее метод сорбционных лизиметров был использован автором для оценки продуктов трансформации веществ органогенных субстратов в почве. Данный прием был назван нами как «модифицированный вариант СЛ»

(Яшин И.М., Черников В.А. и др., 1989 – Авт. свидетельство на изобретение № 1686350 от 28.03.1989). С помощью СЛ в полевых модельных опытах было изучено соотношение *жидких и газообразных компонентов* субстратами, СЛ целесообразно использовать для уточнения мобилизации в раствор и экотоксикантов, в частности, **ионов тяжелых металлов** из различных отходов производств – ТБО, опилок, сапропелей, мелиорантов и т.д. Поскольку *именно ионы и молекулы включаются в биогенный и абиотический потоки миграции в экосистемах*.

СЛ помогают уточнить источники суперэкоксикантов в почвах, например, **микотоксинов** и **компонентов нефтепродуктов**, углубить понятие «почвоутомление», полнее понять генезис кислотности и симбиоз микроорганизмов с растениями. В этой связи на основе данных таблицы 5

Табл. 5. Форма и масштаб вертикальной нисходящей миграции соединений железа и компонентов ВОВ в дерново-подзоле на двучленах плакора ЛОД. Кв. 7. Экспозиция: 15.07 – 04.12.2010 г.

Горизонт и глубина закладки СЛ, см	С <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup>				Масса ионов Fe <sup>3+</sup> , прочно связанных ВОВ, %	Масштаб миграции ионов железа, мг/м <sup>2</sup>
	Общий масштаб миграции	В водо-ацетоновом элюате с угля (ИОВ)	В аммонийном элюате с угля (ФК)	В Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
<b>A<sub>0</sub>-3</b>	<b>23,5±7,9</b>	<b>7,6±4,2</b>	<b>13,4±8,3</b>	<b>2,5±1,8</b>	59,1±23,4	<b>254±32,6</b>
<b>E<sub>n</sub>-12</b>	7,6±2,3	2,1±0,7	4,5±1,8	1,0±0,7	<b>65,2±29,1</b>	116±19,7
<b>V<sub>fg</sub> - 49</b>	<b>11,5±4,6</b>	<b>4,9±1,5</b>	<b>6,3±2,5</b>	<b>0,3±0,1</b>	<b>67,7±34,6</b>	<b>263±41,1</b>

\*В работе участвовала дипломница Наумова Е.

можно заключить, что за летне-осенний сезон из лесной подстилки дерново-подзола супесчаного контактно-осветленного, развитого на двучленах ЛОД, выщелачивается атмосферными осадками **23,5±7,9 г/м<sup>2</sup> С<sub>орг</sub> ВОВ**. В то же время значительная масса водорастворимых органических веществ выщелачивается и из сорбционного барьера миграции горизонта **V<sub>fg</sub>**, что указывает на его деградацию в фации, на вырубке. Причиной наблюдаемого процесса является резкое изменение водного режима при отсутствии древесной растительности. Избыток влаги способствует масштабной мобилизации из опада и лесной подстилки ВОВ с кислотными свойствами. Указанные соединения и вызывают активную трансформацию соединений Fe иллювиально-железистого горизонта при миграции. Хотя масштаб водной миграции соединений Fe из этого горизонта невысокий в сравнении с подзолами и подзолистыми почвами подзон средней и северной тайги РФ, где он примерно в **1,7-2,3** раза больше (И.М. Яшин, 1993, 2006). При водной миграции в супесчаном профиле микроподзола изменяется компонентный состав ВОВ, который был диагностирован по схеме W. Forsyth (1947) в модификации И.М. Яшина (1974,1993) на низкочольном активированном

**угле.** Установлено, в частности, что в период вегетации (при высокой биологической активности почвы) из гумифицированного субстрата лесной подстилки ЛОД выщелачиваются преимущественно компоненты фульвокислот (ФК), устойчивые к биodeградации. Индивидуальные органические вещества (ИОВ) имеют меньший масштаб миграции, очевидно, из-за их высокой доступности микроорганизмам. *Именно эти органические вещества и являются самыми полезными среди группы гумусовых соединений для биоты, хотя они весьма быстро исчезают и труднодоступны для диагностики. С помощью метода сорбционных лизиметров, в известной мере, удается уловить некоторые компоненты ВОВ с кислотными свойствами, образующиеся при трансформации растительных остатков.* Причем устойчивые компоненты ВОВ, постепенно накапливающиеся на почвенной матрице, и образующие группу гумусовых соединений (ГС), выполняют в основном депонирующие функции. *Их важное биохимическое значение в почвах еще требует доказательств.*

Табл.6 Динамика валового содержания ТМ в дерново-подзолах на двучленах при мониторинге лесных (фон) и лесопарковых фаций 2008-2012 гг., мг/кг

Отбор образцов, см	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
<b>ЛОД.</b> Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы <b>5 июля</b> 2008 г.*					
A <sub>1h</sub> /E <sub>h</sub> 2-12	<b>0,27 ±0,07</b>	<b>5,1 ±0,7</b>	<b>34,4 ±12,1</b>	<b>17,4 ±3,4</b>	<b>0,26 ±0,09</b>
E <sub>hg</sub> 16-26	0,18 ±0,04	2,7 ±0,4	18,3 ±8,8	19,1 ±4,7	0,70 ±0,08
E <sub>gh</sub> 39-42	0,11 ±0,03	0,15 ±0,02	9,4 ±2,5	8,3 ±3,2	<b>1,17 ±0,13</b>
B <sub>fg</sub> 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 <sub>2g</sub> 79-89	Не опр.	0,49 ±0,05	Не опр.	Не опр.	1,06 ±0,18
<b>ЛОД.</b> Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы <b>после схода снега</b> 16.04.2009					
A <sub>1h</sub> /E <sub>h</sub> 2-11	<b>0,20 ±0,09</b>	<b>24,8 ±8,7</b>	30,5 ±10,1	11,3 ±3,9	Не опр.
<b>ЛОД.</b> Плакор холма, фация сосны; отбор образцов почвы <b>7 июля</b> 2012 г.					
A <sub>1h</sub> /E <sub>h</sub> 2-12	<b>0,36 ±0,08</b>	<b>12,7 ±1,9</b>	<b>61,2 ±14,3</b>	<b>21,5 ±4,9</b>	<b>0,43 ±0,08</b>
E <sub>hg</sub> 16-26	0,27 ±0,03	5,9 ±1,4	31,1 ±7,1	22,2 ±5,6	0,26 ±0,06
E <sub>gh</sub> 39-42	0,12 ±0,01	0,9 ±0,04	11,8 ±3,4	10,7 ±4,3	0,87 ±0,23
<b>ЦЛГПБЗ:</b> плакор, фация ельника-черничника (отбор образцов почвы <b>30.09.2011</b> г.)					
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> 1-9	<b>0,19 ±0,04</b>	<b>14,0 ±4,8</b>	<b>8,0 ±2,7</b>	1,6 ±0,8	<b>0,6 ±0,09</b>
A <sub>1h</sub> /E <sub>h</sub> 9-17	0,09 ±0,02	6,8 ±1,9	15,6 ±4,4	1,7 ±0,9	2,1 ±0,2
B <sub>frp</sub> 17-27	<b>0,20 ±0,06</b>	6,7 ±2,1	<b>19,5 ±5,3</b>	1,9 ±0,7	3,1 ±0,4
EL'g 45-55	<b>0,24 ±0,08</b>	3,5 ±0,9	15,0 ±4,1	<b>2,2 ±0,9</b>	<b>4,0 ±0,6</b>
B <sub>2g</sub> 67-77	0,13 ±0,02	3,3 ±0,8	<b>20,1 ±6,8</b>	<b>5,0 ±1,4</b>	<b>5,9 ±0,8</b>

- Анализы выполнены дипломницей Наумовой Е.; повышенное содержание ТМ в дерново-подзолах ЦЛГПБЗ коррелирует с аномально высоким содержанием доступных форм фосфора, что требует дополнительной проверки.

Не исключено, что устойчивые ГС почв выполняют функции буферных и индифферентных веществ. Пока они не изучены в полной мере. Компоненты ВОВ, в отличие от устойчивых ГС, играют исключительно важные экологические функции, связанные с передачей мобильных веществ и

энергии по трофическим цепям в экосистемах. Еще одна важная экологическая особенность ВОВ связана с обеспечением биоразнообразия. Огромное количество молекул ВОВ с разными функциями способствует формированию новых классов веществ (например, **комплексных органоминеральных соединений**) в экосистемах. ВОВ отражают взаимосвязь двух макропроцессов в экосистемах – фотосинтеза и гумусообразования.

В этих экологических условиях отмечается изменение гидрохимического состава поверхностных природных вод (родников, ручьев, озер, рек, водохранилищ) в направлении увеличения как сухого остатка, так и концентраций органоминеральных мигрантов - Si, Fe, Al, появление водорастворимых форм тяжелых и других металлов, а также ухудшение качества воды. Отмечены опасные для здоровья биоты хлорорганические соединения. В этой связи необходимо повсеместное внедрение сорбционных методов очистки воды и проведение экологического мониторинга.

### 3.3. Эко-геохимическая оценка загрязнения фаций Лесной опытной дачи

Для эко-геохимической оценки поведения ионов тяжелых металлов (ТМ) в фациях ЛОД рассмотрим фактические данные (табл. 6). Определение валового содержания ТМ в почве – это первый шаг при диагностике химического загрязнения почв. **Однако нередко полученные данные сравнивают с величинами ПДК, и на этом заканчивают исследования.**

Табл. 7. 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 сорбционных колонок, см	Сухой остаток, г/л	Концентрация* в растворе, мг/л		Валовое содержание в почве, %		k <sub>миг</sub> по А.И. Перельману (1975)	
		Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>
<b>Разрез 11.</b> Почва – слабоподзолистая поверхностно-глееватая тяжелосуглинистая (псевдоподзолистая) на ленточных глинах. Парцелла: ельник-черничник зеленомошный; правый берег реки Суна (через мост напротив конторы).							
A <sub>0</sub> 2	0,419	<b>5,8</b>	<b>6,9</b>	7,2	15,9	0,19	0,10
A <sub>1</sub> /ELg 10	0,287	3,7	3,7	5,5	18,9	<b>0,23</b>	<b>0,07</b>
EL/B <sub>g</sub> 29	0,314	0,9	3,5	5,1	18,0	0,06	0,06
<b>Разрез 81.</b> Почва – подзол маломощный иллювиально-гумусово-железистый песчаный. Сосняк-беломошник («Вороновский» бор).							
A <sub>0</sub> <sup>r</sup> 8	0,347	6,0	8,7	6,5	14,0	0,2	0,18
A <sub>2</sub> (EL) 25	0,294	4,5	7,0	0,8	9,1	<b>1,92</b>	<b>0,26</b>

\*После разрушения ВОВ; катионы Fe<sup>3+</sup> и Al<sup>3+</sup> определяли в растворе после просасывания исходного почвенного раствора через свечу Шамберлена.

Известно, что данный санитарно-гигиенический параметр был предложен в 80-х годах прошлого века. Он рассматривался как временный и

ориентировочный (с чего-то нужно было начинать оценку загрязнения). Но время идет, а данный параметр уже широко используется при оценке загрязнения почв. *При этом результаты опытов по диагностике ПДК в отношении разных групп живых организмов пока не обсуждались.* Рассмотрим загрязнение почвы ЛОД ионами свинца и иными ТМ по сведениям таблицы 6.. Валовое содержание свинца в самом верхнем горизонте почвы ЛОД составляет  $5,1 \pm 0,7$  мг/кг почвы. ПДК для свинца в почве (по Методическим указаниям) составляет 32 мг/кг. **Вывод:** почва не загрязненная. Хотя в Методических указаниях по диагностике загрязнения *не уточняются тип почвы, ландшафт (степной, тропический, тундра), вид сельскохозяйственного угодья, антропогенная нагрузка.*

### 3.4. Методологии оценки загрязнения почв и экосистем

Охарактеризуем альтернативные ПДК эколого-геохимические подходы некоторых специалистов при оценке загрязнения почвы:

1-й по индексу загрязнения ионами ТМ верхнего горизонта почвы – по Ю. Саету (1988);

2-й по расчетным формулам ПОН и ПАН – по В.А. Алексеенко (2000);

3-й по индексу суммарного загрязнения экосистемы, например ЛОД – И.М. Яшин, 2012.

**Первый подход** опирается на известное выражение:

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

где  $k_n$  – коэффициент накопления в почве (в данном случае в верхнем горизонте) экотоксиканта; рассчитывается как отношение **масс**  $C_i$  (реальное содержание, например  $Hg^{2+}$  в загрязненной почве) к  $C_{фон}$  (содержание  $Hg^{2+}$  в **фоновой** почве):

$k_n = C_i / C_{фон}$ ;  $n$  – количество изучаемых элементов без 1.

Затем составляется шкала градаций по загрязнению верхнего горизонта почвы  $J_{сз}$ :

**0-16** – незагрязненные;

**16-32** – слабозагрязненные;

**32-64** – средне загрязненные;

**64-128** – сильнозагрязнённые и

**> 130** – критическое (кризисное) состояния почвы.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) выделяет 3 основные класса токсичности химических элементов:

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

**2-й класс:** Cr, Co, B, Mo, Ni, Cu, Sb;

**3-й класс:** Ba, V, W, Mn, Sr.

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

**Второй подход** основан на расчете ПАН и ПОН. Первый – это показатель абсолютного накопления ионов ТМ в почве. ПОН – показатель относительного накопления ТМ. Подробно эти параметры изложены в книге автора «Экологическая геохимия» (2000).

**Третий подход** – предложили И.М. Яшин с соавт. (2012). Рассмотрим его подробно.

Выражение (1) является частным, поскольку при оценке загрязнения учитывается только один компонент экосистемы – почва. Этого недостаточно с экологических позиций. Нами предложено выражение (2), которое отражает *не только совокупность изученных экотоксикантов, но и основные компоненты экосистемы: почву, биоту, аэральные выпадения (по снеговой съемке), а также масштаб водной миграции загрязнителей (отчуждаемую массу мигрантов)*. Причем, вместо выражения (n-1) мы вводим другой математический параметр:  $(1 + (n/n-1))$ . Он равен примерно 2 и его следует прибавлять к индивидуальному коэффициенту при оценке загрязнения выше указанных компонентов экосистемы. Отметим, что при диагностике загрязнения биоты рассчитываются индивидуальные коэффициенты биогенного накопления  $k_{бн}$  загрязнителей - в растениях, опаде, слоях лесной подстилки и корнях, которые суммируются и получается общий коэффициент биогенного накопления  $k_{бн}$  экотоксикантов в биоте. В подзолах, развитых на двучленных породах, содержание химических загрязнителей учитывается не в одном (верхнем) горизонте, как при агрохимических изысканиях, а во всем профиле мини подзола (данная масса почвы активно участвует в биогеохимическом круговороте – биогенной и водной миграции).

Предлагаемая нами интегральная оценка химического загрязнения экосистемы ЛОД по индексу суммарного загрязнения компонентов экосистемы рассчитывается по выражению (2):

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

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

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

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

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

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

Наряду с миграцией веществ в насыщенных водой почвах важную (и специфичную) роль<sup>3</sup> играет диффузия [рис.6, В]. Этот процесс протекает круглый год и, в отличие от сорбции, приводит к рассеиванию ионов, молекул, радикалов из микрозон локального сосредоточения веществ на сорбционных барьерах по всему объему генетических горизонтов. Диффузия способствует сегрегации ионов Fe, Mn и молекул фульвокислот в конкреции при оглеении, куда стягиваются и ионы ТМ. Движущими силами диффузии являются: градиент концентрации, разность химических потенциалов элементов и гидротермический градиент. При отсутствии внешнего воздействия диффузионный поток мобильных веществ с равной вероятностью перемещается в любом направлении генетических горизонтов и почвенного профиля. Данный параметр в почве можно выразить через произведение концентрации вещества (моль·л<sup>-1</sup>) на скорость его направленного перемещения ( $v_1$  – м·с<sup>-1</sup>) через заданную площадь сечения миграционного потока S (м<sup>2</sup>) за время t (с).

Рассмотрим диагностику коэффициента миграции  $k_{миг}$ .

Величины коэффициента миграции  $k_{миг}$  ТМ рассчитываются по формуле **А.И. Перельмана (1975)**:

$$k_{миг} = m_{ж.ф.} \cdot 100/n_x \cdot a_x \quad (3),$$

<sup>3</sup> Особенно в почвах, испытывающих устойчивое или временное сезонное переувлажнение. Данные о водной миграции веществ следует дополнять информацией об их диффузии.

где  $m_{ж.ф.}$  — концентрация ионов ТМ в природной воде, г/л;  
 $n_x$  — Кларк ТМ в породе (коре выветривания), %;  
 $a_x$  — сумма растворимых веществ в природной воде, г/л.

Например, для бассейна Москвы-реки в Коломенском районе Подмосковья использовали величины  $a_x$  (в межень) 400 мг/л, Кларки ТМ (из кн. А.И. Перельмана, 1975),  $m_{ж.ф.}$  — из кн. «Техногенное загрязнение речных экосистем» (2002).

Рассчитаем  $k_{миг}$  для ионов  $Pb^{2+}$ :

$$k_{миг} = \frac{0,07 \cdot 100}{0,0016 \cdot 400} = 10,9 \quad (4)$$

Наиболее часто в водах Москвы-реки диагностируются Cr, Cu, Co, Zn, реже Pb. Концентрации Fe и Mn выше ТМ обычно в 80-100 раз.

Получены следующие величины  $k_{миг}$  - Cr — 2,7; Cu — 213; Co — 7; Zn — 3,3; Ni — 4,3; Hg — 156; Cd — 167; F — 0,1; Pb — 11; Mn — 0,03; Fe — 0,002; Ca — 0,2; Sr — 0,22; As — 74.

Таким образом, очень активными водными мигрантами в южно-таежных ландшафтах Подмосковья являются Hg, Cd, As, Pb, Cu, Co.

Активными биогенными мигрантами являются Ca, Sr, F, Fe, Mn, Zn, которые накапливаются в кормах и продуктах питания; при избытке загрязняют их.

В среднетаежных ландшафтах Карелии (табл.7) величины  $k_{миг}$  для соединений железа оказались более высокими в сравнении с соединениями алюминия. Косвенно эти данные подтверждают наше предположение о деградации иллювиально-железистых барьеров миграции в песчаных подзолах на боровых террасах рек и в ландшафтах с озами, камами и друмлинами.

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 актуальные в эко-геохимическом отношении.

### 3.5. Параметры оценки активных форм мигрантов

**Рассмотрим на примерах параметры их оценки.**

*При расчетах проводятся следующие взаимосвязанные операции:*

- 1) рассчитывают *величины масштаба абиогенной (водной) миграции* ВОВ или химических элементов по генетическим горизонтам почвы (или почв катены) по результатам применения сорбционных лизиметров,
- 2) оценивают *среднюю линейную скорость* водной миграции в профиле почвы,

- 3) разрабатывают *концепцию «абиогенных полей»* миграции в биогеоценозе,
- 4) определяют коэффициент интенсивности водной миграции  $k_{\text{миг}}$  и
- 5) рассчитывают для изучаемых химических элементов **градиент барьера миграции «G»**.

по выражению:  $G = m_1 - m_2/l$ . Рассмотрим расчет данных параметров.

### 3.5.1. Расчет величины масштаба абиогенной миграции (на примере ВОВ)

При расчете величины масштаба миграции водорастворимых химических соединений по генетическим горизонтам почвы нужно использовать единую размерность – массу веществ (мг, г, кг).

Для этого искомую концентрацию, например,  $C_{\text{орг}}$  компонентов ВОВ в элюатах, полученных в лаборатории из определенной массы 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 –  $1 \text{ м}^2$ , исходя из рабочей площади сорбционного лизиметра.

**Пример:** в 1 н. NaOH элюате ( $V = 250 \text{ мл}$ ) из  $50 \text{ г } Al_2O_3$  установлена концентрация органического углерода ВОВ, равная  $125,0 \text{ мг/л}$ . Следовательно, масса  $m$  данного мигранта в элюате будет равна  $31,25 \text{ мг}$ :

$$C \cdot V = 125 \text{ мг/л} \cdot 0,25 \text{ л} = 31,25 \text{ мг} \quad (5),$$

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 ( $1 \text{ м}^2$ ), находят искомую величину массы углерода ВОВ в щелочном элюате (составив пропорцию, см. сноску – 7).

В следующей аналитической операции используют водный раствор  $0,1 \dots 1,0 \text{ н. } H_2SO_4$ , который пропускают через сорбент после его промывки водой ( $200 \dots 300 \text{ мл}$ ). Диагностированную массу  $C_{\text{орг}}$  ВОВ суммируют с предыдущей.

*Поскольку часть компонентов ВОВ сорбируется  $Al_2O_3$  необратимо (по типу хемосорбции), целесообразно определять углерод ВОВ непосредственно в сорбенте по методу Тюрина в модификации Симакова, соблюдая меры предосторожности при нагревании (возможен выброс части хромовой смеси, поэтому добавляют немного пемзы или прокаленного покровного суглинка). Искомая величина общего органического углерода в  $Al_2O_3$  выражается массовыми процентами.*



Рис. 10. Аспирант А.А. Петухова устанавливает сорбционные лизиметры в профиль почвы плакора, в фации лиственницы Лесной опытной дачи (фото И.М. Яшина, 2010).



Рис. 11. Дипломники Е. Наумова, И. Лямин и Г. Заблудин извлекают сорбционные лизиметры из профиля почвы ЛОД в предзимье (фото И.М. Яшина 27.11.2008).

**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) –  $27,9 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$  <sup>4</sup>. 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 вод<sup>5</sup>.

Ориентировочный вынос мигранта (например, ВОВ из гор. А<sub>0</sub> дерново-подзола в фации ЛОД) при использовании метода сорбционных лизиметров, в первом приближении, можно прогнозировать, исходя из соотношения следующих реальных (выявленных в натурном опыте) величин:

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

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  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и поступившей в приемник – 2,7 л;

**C<sub>0</sub>** – 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 (7), 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  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , но и вследствие интенсивной минерализации компонентов ВОВ в сорбентах группами микроорганизмов.

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

<sup>4</sup> Масштаб миграции **Сорг** ВОВ из горизонта рассчитывают из следующего соотношения:

$$\begin{aligned} 437,5 \text{ мг} &- 66,4 \text{ см}^2 \text{ (рабочая площадь колонок)} \\ x &- 10^4 \text{ см}^2 \text{ (расчетная площадь почвы)} \end{aligned} \quad (6)$$

$$x = 65,9 \text{ г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}.$$

<sup>5</sup> Концентрацию **Сорг** ВОВ в приемных водах лизиметров умножают на объем природного раствора (л). Затем, исходя из массы **Сорг** ВОВ (г), рассчитывают вынос ВОВ. Результат суммируют с прежним, получая величину масштаба абиогенной миграции по данному лизиметру ( $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ ).

водного баланса подзолистой почвы (А. Роде, 1963) в ельнике Тверской обл. (в пределах реального водосбора).

Анализ натуральных 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 м<sup>2</sup>, будет равна 139 кг/м<sup>2</sup>. На основе соотношения рабочей площади сорбционного лизиметра (407 см<sup>2</sup>) и расчетной поверхности почвы (1 м<sup>2</sup>) найдем искомую величину: 5,7 л Н<sub>2</sub>О. При площади сорбционного лизиметра 66,4 см<sup>2</sup> эта величина будет равна примерно 1 л.

Мобилизующиеся в растворимое состояние из опада и лесных подстилок ВОВ претерпевают различные превращения, участвуя в частности, в миграции различных соединений с потоком гравитационной влаги по профилю почв и в ландшафтах. При абиогенной миграции в почвах наряду с сорбционно-десорбционными взаимодействиями и фракционированием сложной смеси веществ наблюдаются коагуляция коллоидных систем, механический перенос тонкодисперсных частиц под защитой ВОВ, а также переход химических элементов из 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 подзолистых почв.

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

$$\frac{dM}{dS} = g(x, y, z, t). \quad (8)$$

Для реального элементарного почвенного ареала (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.

### 3.5.2. Расчет средней линейной скорости водной миграции вещества в почве

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. 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:

$$R_f = \frac{v}{u}, \quad (9)$$

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.

**Используют также расчетный метод**, основанный на определении распределительного отношения  $h$  (В.В. Рачинский, 1981):

$$h = \frac{n_o}{N_o}, \quad (10)$$

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 (10) на основании сорбционных исследований. Так, *линейную плотность образца (г/см) в хроматографической колонке определяют из соотношения плотности почвы (г/см<sup>3</sup>) и рабочей площади сечения колонки (см<sup>2</sup>).*

Рассмотрим фактические данные. 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, определяем величину  $v - 26,7$  см/год. Искомый параметр  $R_f$  составляет 0,64, что свидетельствует о заметной миграционной активности компонентов ВОВ при их водной миграции.

### 3.5.3. Оценка коэффициента водной миграции $k_{\text{миг}}$

Вначале обратимся к историческим фактам. 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. Польшов (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  $k_{\text{миг}}$*  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  $k_{\text{миг}}$  можно как по «Кларку» в литосфере (коре выветривания), так и по валовому его содержанию в почвообразующей породе.

**Рассмотрим этот методический подход** на примере авторских стационарных исследований в **бассейне р. Мезени** (И.М. Яшин, В.С. Кащенко, 1984), табл. 8.

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 водной 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 активнее мобилизуется в раствор, чем железо. **Но Кларк кремния** в этой почве 86%, и он существенно больше, чем у железа (1,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). По формуле А.И. Перельмана (1975) можно рассчитать коэффициент водной миграции кремния и железа:

Таблица 8

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 <sup>2</sup>	Запасы в слое, кг/м <sup>2</sup>	Валовое содержание, %	Масштаб миграции, г/м <sup>2</sup> за 1 год	<b>k<sub>миг</sub> по Перельману</b>
<b>EL<sub>g</sub> 24</b>	360,0	$\frac{315,4}{1,94}$	$\frac{87,6}{0,54}$	$\frac{3,4 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,1 \cdot 10^{-5}}{1,6 \cdot 10^{-4}}$
<b>EL/V<sub>g</sub> 23</b>	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>V<sub>g</sub> 30</b>	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; в колонках было 2 слоя по 1,5 см.

$$k_{\text{миг}} = \frac{m \cdot 100}{a \cdot n}, \quad (11)$$

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% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>);

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 глее-подзолистой почвы на порядок выше, чем у кремния, хотя содержание последнего в водном растворе значительно больше.*

При расчетах значения **k<sub>миг</sub>** в компонентах таежных ландшафтов целесообразно сопоставлять **не концентрации химических элементов, а их массы как в жидкой, так и в твердой фазах почвы (табл. 8)**. 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.

**Интенсивность водной миграции изучаемых элементов** в таежных ландшафтах Архангельской области довольно неоднозначна. Спектр величин коэффициента миграции **k<sub>миг</sub>** варьирует от десятых долей и нескольких единиц для **Fe** (данный химический элемент может мигрировать в разных формах) до десятков и более 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, карбонатно-кальциевом, солевом и других) интенсивность миграции элементов **заметно изменяется**, а в ландшафтах с урочищами болот, болотно-подзолистых и дерново-перегнойных глеевых почв существенно возрастает (например, болотные массивы в пойме р. Нименьги Архангельской области). Здесь больше масштаб миграции **ВОВ** с кислотными свойствами.

*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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , и  $\text{K}^+$  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 почв, субстратов, воды элементами питания и кальцием играет большую адаптивную роль для микроорганизмов таежных 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.

В то же время **компоненты ВОВ** с кислотными и комплексообразующими свойствами в зонах тайги и лесостепи усиливают кислотный гидролиз

почвенных минералов, способствуют формированию комплексных органоминеральных соединений (*не разрушающихся при прохождении почвенных барьеров миграции*) и их поступлению в поверхностные воды рек.

В этой связи интересно рассмотреть данные о качестве вод реки Москвы в динамике.

Из литературных данных и рис. 8 следует, что бассейн реки Москвы пролегает среди живописных **южно-таежных лесных, болотных и полевых ландшафтов.**

До мегаполиса антропогенная нагрузка на речные воды связана в основном с деятельностью сельскохозяйственных предприятий и эрозией почв (рис.11). Наряду с этим большое влияние на экологическое состояние вод реки и ее притоков оказывают



Рис. 12. Карта-схема бассейна реки Москвы от истока в верховых болотах Можайского района Подмосковья и до ее устья – впадения в городе Коломна в реку Оку.

**болотные, болотно-подзолистые, подзолистые почвы и таежные экосистемы.** Их функционирование сопряжено с формированием и масштабной водной миграцией ВОВ с кислотными и комплексобразующими свойствами. Поэтому цветность вод здесь высокая, обусловленная компонентами ВОВ и комплексными Fe, Mn-органическими соединениями. *Из почв тайги выщелачиваются коллоиды и тонкодисперсные частицы.*

#### **Глава 4. Экологическая оценка динамики качества вод малых рек и реки Москвы в пределах столичного мегаполиса**

Основная антропогенная нагрузка на речные воды приходится в мегаполисе (рис.9, 10). Экологическое качество поверхностных вод в Москве заметно ухудшается (табл. 9). Не только суда загрязняют воды реки, но и сточные (и ливневые) воды, применение антигололедных реагентов и другие источники.

Они влияют на состав ионов речной воды. Снеговой покров является **мощным поглотителем** частиц сажи, золы и пыли, а также оксидов азота, серы, фосфора (кислотообразующих анионов) – рис. 12А.

**Оценка качества вод в фоновых ландшафтах** подзоны южной тайги необходима для сравнения с антропогенно-загрязненными аналогами. Иначе трудно объяснить появление в поверхностных водах мегаполиса тех или иных экотоксикантов. В этой связи рассмотрим фактические данные за **2009 год о загрязнении речных вод** мегаполиса и в Подмоскowie, опубликован-

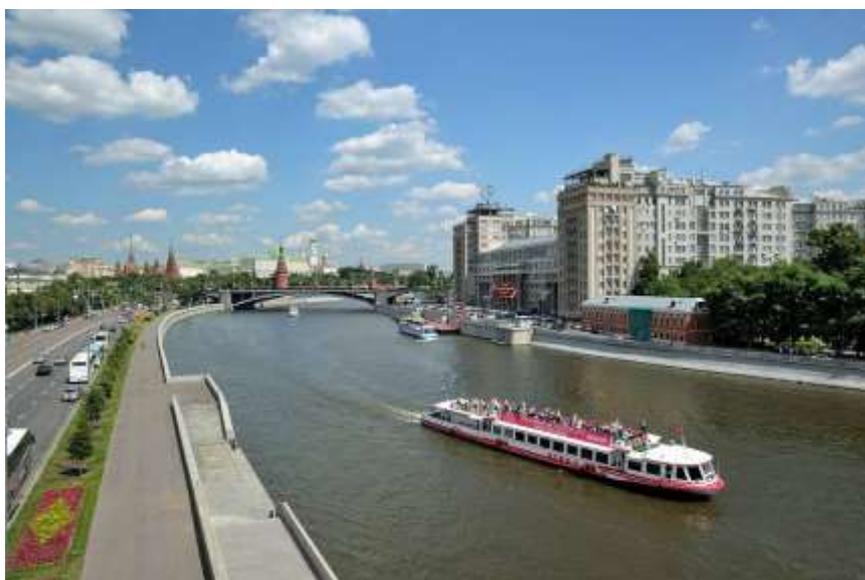


Рис.13. Река Москва придает эстетичный вид столице.

ных в открытой печати.

По результатам комплексного обследования водоемов реки Москвы, проведенного Росприроднадзором в **2004 – 2005 гг.** данная река отнесена "к очень грязным водоемам шестого класса качества с индексом загрязненности вод (ИЗВ) от шести до десяти".

"Высокий показатель ИЗВ на реке обусловлен *нитритами, азотом аммонийным, фенолами, нефтепродуктами, органическими веществами, медью, цинком, железом*, которые поступают со сточными водами", – сообщалось в пресс-релизе Минприроды. Содержание отмеченных загрязнителей превышает предельно допустимую концентрацию в 30–40 раз.

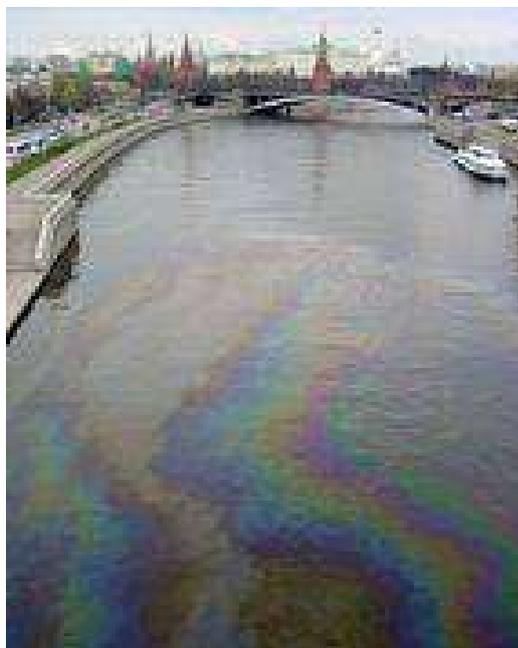


Рис. 14. Загрязнение речных вод мегаполиса нефтепродуктами нередкое явление: сорбируясь поверхностью воды, компоненты нефтепродуктов (поверхностно-активные вещества – ПАВ) образуют тонкую пленку - природную хроматограмму углеводородов; газообмен в системе вода-воздух резко ухудшается. Уменьшается и испарение воды.



Рис. 15. Живописные луговые и лесные ландшафты издавна привлекали людей для поселений, а реки служили транспортными магистралями. При более высокой антропогенной нагрузке усиливается распашка берегов рек и эрозия, речные воды загрязняются.

8 сентября 2009 года экологи из общероссийской общественной организации «Зеленый патруль» в ходе рейда по Москве-реке отметили «залповый выброс нефтепродуктов из водостока напротив ТЭЦ–12 (филиал ОАО "Мосэнерго") на Бережковской набережной. Шлейф нефтепродуктов в течение часа распространился на один километр вниз по течению в сторону Воробьевых гор. По словам рыбаков, облюбовавших берега Москвы-реки,



А

В

Рис. 16. При таянии снегового покрова (А) в лесных фоновых 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).

такие выбросы происходят с ТЭЦ–12 регулярно.

20 мая 2009 г. пена неизвестного генезиса отмечена на поверхности реки Очаковка в ЗАО Москвы. Река Очаковка впадает в реку Раменка, которая далее, сливаясь вместе с рекой Сетунь, впадает в Москву-реку. Пена в реку поступала из коллектора, проложенного под землей и идущего параллельно Мичуринскому проспекту. Вода в реке имела резкий химический запах.

В апреле 2009 года сотрудники "Мосводоканала" зафиксировали резкое ухудшение качества речной воды в контрольной точке на реке Маглуша – притоке Истры, которая впадает в реку Москва. По информации "Мосводоканала", источником загрязнения стала Железняковская площадка

**складирования птичьего помета и навоза** в производственном отделении "Глебово", принадлежащем ЗАО "Петелинская птицефабрика". Вследствие таяния снега и прошедших дождей было размывто ограждение площадки складирования навоза, и талые воды с пометом попали в ручей, который впадает в Маглушу.

27 апреля 2009 года произошла авария с **выбросом аммиака** на ОАО "Московский межреспубликанский винодельческий завод", в результате которой опасное вещество (аммиак) попало в реку Сетунь, впадающую в Москву-реку.

14 ноября 2009 г. было обнаружено нефтяное пятно в САО Москвы. **Экологическая милиция города** выявила источник загрязнения, расположенный в районе аэропорта Шереметьево-3, организацию ООО "Горинжиниринг", деятельность которой явилась причиной загрязнения. Работа фирмы была приостановлена.

В январе 2008 года из-за аварии на "Заводе экспериментального машиностроения РКК "Энергия" имени С.П. Королева" произошел выброс мазута в Дулев ручей и в реку Клязьму. В Дулев ручей попало **540 тонн мазута**. Разлив нефтепродуктов нанес водным ресурсам ущерб более 3 млн. рублей.

Серьезной проблемой стала ситуация с **выбросом фекалий в Москву-реку в Подмосковье**. По подсчетам специалистов, на четырех станциях реки в пределах города Москвы произошел сброс нечистот в объеме до **150 тыс. м<sup>3</sup>**. **Более чем в 240 раз была превышена концентрация микроорганизмов и химических загрязнителей в речной воде в Ю-В части Подмосковья.**

Теперь **рассмотрим авторские результаты исследований** по загрязнению вод реки Москвы в мегаполисе.

Сотрудниками «Мосводоканала» и «Мосводостока» проводится системный локальный мониторинг качества вод Москва-реки и ее притоков. Однако такие наблюдения требуют дополнительных научных изысканий и более полного анализа информации о водах Москвы-реки (с учетом загрязнения вод ее притоков в динамике), что и определило цель наших исследований в 2010-2014 гг.

**Объекты исследований.** Изучены поверхностные воды Москвы-реки до мегаполиса, в центре и за пределами города Москвы. Площадь бассейна Москвы-реки составляет 17640 км<sup>2</sup>. В верхнем течении ширина реки изменяется от 2 до 10 м, в черте российской столицы она составляет примерно 100 м, а в устье - 150 м. От истока к устью увеличивается и глубина реки: около Звенигорода она составляет 1,5 м, а в устье - у города Коломны - 5 м. Протекая по равнинным ландшафтам южной тайги, в Москва-реку впадает ряд крупных притоков (Руза, Истра, Пахра, Северка и др.), вода которых в

той или иной мере уже загрязненная. Водохранилища руслового типа, сооруженные на реке, играют исключительно важную роль в снабжении города Москвы водой. Так, в 1959 году, недалеко от Можайска, было создано *Можайское водохранилище*, имеющее ширину 1-3 км и глубину 5-10 м. В 1966 году было создано *Рузское водохранилище*. Его площадь достигает 3270 га, длина - 36 км, ширина 0,5 - 2 км, а глубина водохранилища в среднем достигает 6-7 метров. *Озернинское водохранилище* также предназначено для водоснабжения столицы. Его площадь составляет 2300 га, длина 29 км, ширина местами достигает 3 км. На территории этого водохранилища оборудовано множество лодочных станций, а в деревне Ремяница имеется 30-ти местная гостиница. *Истринское водохранилище* было создано в 1935 году; длина - 28 км, площадь - 3360 га, средняя глубина водохранилища - 6 м.

**Методы исследований.** Отбор проб воды проводили согласно ГОСТ. Катионы железа, меди, марганца, аммония, нитритные анионы в речных водах определяли с помощью фотоэлектроколориметрического метода, на приборе КФК-3; БПК по методу Винклера; фенолы - флюориметрическим методом на Флюорате 02-3М; нефтепродукты - ИК- спектрометрическим методом, на приборе КН-2; цинк - вольтамперометрическим методом; рН – потенциометрически. Были использованы методы в соответствии с ГОСТ в сертифицированной лаборатории. Результаты анализов вод апробированы с помощью метода вариационной статистики.

**Результаты и их обсуждение.** Известно, что воды рек **Клязьма и Ока** заметно загрязнены различными экотоксикантами. При этом 83 км Москвы-реки (из общих 478 км), которые проходят в столице, успевают масштабно загрязниться, что сказывается на ее неблагоприятном экологическом состоянии и качестве воды. Обстановку обостряют *Курьяновская и Люберецкая станции аэрации*, расположенные на «выходе» из города. Эти станции должны основательно очищать отработанную воду, но качество воды оказывается иным – более низким.

Почему так происходит? В известной мере, это связано со следующими социально-экономическими факторами. В последние 70 лет мощная антропогенная нагрузка на подмосковные *малые реки* возросла особенно сильно, поскольку в 1918-1923 гг. промышленными рубками были охвачены массивы лесов в 30-ти верстной зоне вокруг столицы. За годы Отечественной войны Подмосковье потеряло еще пятую часть площади своих лесов. Все эти масштабные процессы уменьшили водоносность рек и увеличили их загрязнение тонкодисперсными частицами, органическими веществами и тяжелыми металлами. Большое отрицательное воздействие на реки столичного региона оказала также *разработка и массовое осушение болот в Тверской, Московской и Владимирской областях*. Последствия этих масштабных мероприятий остро ощущаются до сих пор: бассейн реки Волга существенно обмелел, торфяники горят, что весьма негативно сказывается и на прилегающих аграрных ландшафтах и подземных водах. *Мощное*

*негативное воздействие на малые реки в черте города оказало градостроительство. Около 90 малых рек Москвы заключены в подземные галереи и трубы (рис.13), а общая протяженность всех 150 подземных и наземных малых рек достигает 400 км.*



Рис.17. Слева – исток Москвы-реки из верхового болота в Подмоскowie; справа – одна из подземных галерей, в которые упрятаны многие реки в мегаполисе.

Воды рек подвержены в столице техногенному воздействию промышленности (сточные воды), водного и автотранспорта, антигололедных реагентов. На малые реки в Подмоскowie, в частности, влияют высокая распаханность ландшафтов (53-64%), «чистые пары» и животноводческие комплексы. Они приводят к эрозии почвенного покрова и загрязнению вод родников, ручьев, прудов и озер. За последние годы в Москве было засыпано *более ста прудов* с площадью зеркала около 170 га. На их месте построены здания, проложены улицы, почвы которых «запакованы» асфальтом. Летом, при температуре более 30<sup>0</sup>С, из асфальта в воздух активно выделяются *бенз(а)пирен, фенол, формальдегид и иные токсиканты.* Таким образом, видна недооценка значения небольших водоемов в создании ландшафтно-архитектурного облика столицы и обустройстве комфортных зон отдыха для людей (кроме известных лесопарков – Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (рис. 46); Измайловского, парка Лосиный остров и др.).

Воды малых рек (Яузы, Сходни...) заметно загрязняют Москва-реку в черте города. Например, в воде реки Яуза, как одном из самых загрязненных притоков, концентрация *нефтепродуктов, железа и аммония превышают нормативы в пятьдесят-сто раз (рис. 52,53).* **Ниже впадения Яузы в Москву-реку качество воды резко ухудшается:** в 3 раза повышается содержание *нефтепродуктов*, на порядок – бактериальное загрязнение, в шесть-восемь раз – содержание взвешенных веществ. Поэтому воды Москвы-реки ниже города *не могут быть использованы ни для хозяйственно-бытовых, ни для рекреационных целей.* Кроме того, промышленными

предприятиями столицы ежесекундно сбрасывается более 73 м<sup>3</sup> плохо очищенных промышленных стоков – столько же, сколько выносит и Москва-река при выходе из столицы. Косвенным показателем низкого экологического качества воды в Москве-реке является концентрация ионов водорода – рН (рис.15). При норме рН 6,8-7,6 величины рН сдвинуты в слабощелочной интервал, в частности, в летний сезон. Очевидно, вследствие сброса синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) - моющих средств, содержащих фосфор. Визуально это проявляется в наличии *пены на поверхности воды*.

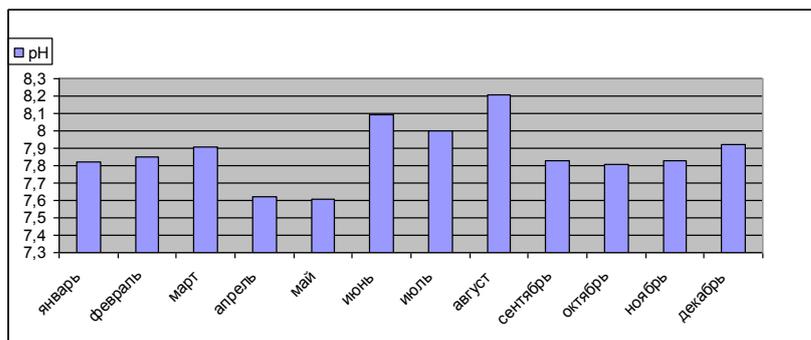


Рис. 18. Сезонная динамика *средних значений рН* воды в Москве-реке за 2010-2013 гг.

Примечательно, что **большинство свалок (более 80%) в Подмосковье** некорректно размещено *в поймах рек*: это приводит к активному химическому загрязнению плодородных аллювиальных почв (и растениеводческой продукции), а также грунтовых и речных вод (к 2013 году эта ситуация не изменилась).

При значительном и продолжительном загрязнении **сточными водами** в воде Москвы-реки заметно изменяются процессы жизнедеятельности водных организмов (гидробионтов и рыбы), *большая часть растворенного в воде кислорода расходуется на окисление органических веществ* (включая и СПАВы): водоток реки превращается, образно говоря, в «*канализационный коллектор*», ухудшая эстетический облик столичной реки. Прогулки людей на катерах и пассажирских судах утрачивают былую привлекательность.

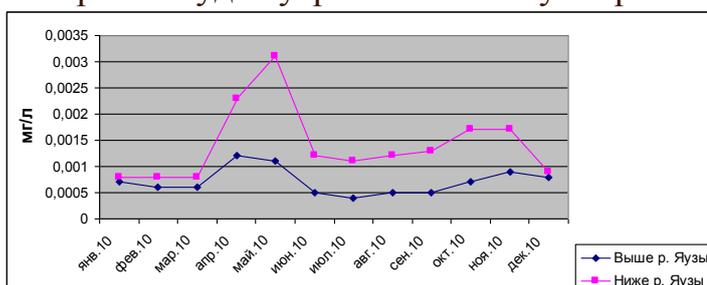


Рис. 19. Концентрация **фенолов** в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2010 г.

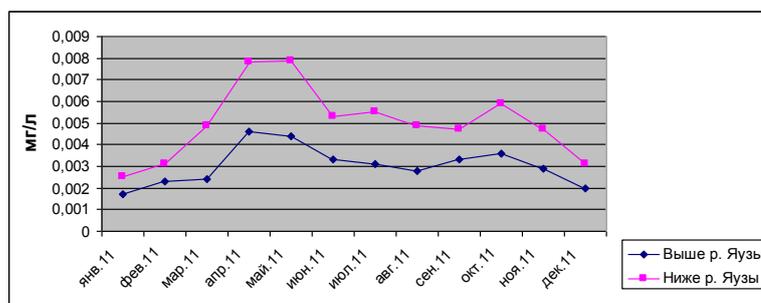


Рис. 20. Концентрация фенолов в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2011 г.

Качество воды в Москве-реке в пределах города и ниже по течению – низкое. Это обусловлено тем, что соотношение *сточных и природных вод* близко к 2:1 (то есть сточных вод больше, чем природных). После очистки сточные воды *не удовлетворяют требованиям* по содержанию органических веществ, *нефтепродуктов, ионов аммония и тяжёлых металлов*.

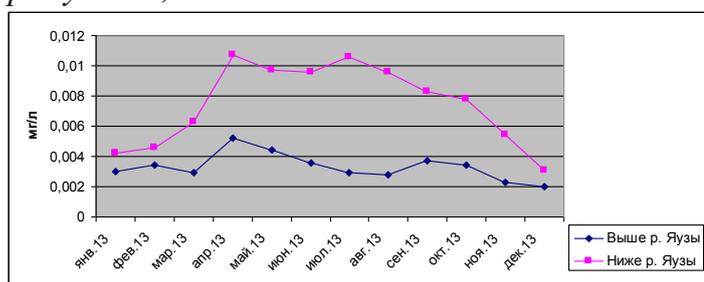


Рис. 21. Концентрация фенолов в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2013 г.

**Фенолы** могут быть продуктами разложения нефтепродуктов (их низкокипящих фракций), а также гумусовых веществ почвы (рис. 15-17). Наибольшую опасность представляют эти *соединения с хлором*. Поэтому хлорирование вод при их водоподготовке в настоящее время не проводят.

В черте города Москвы выделяются **три участка** с разной степенью химического загрязнения речных вод:

- 1-й - от входа в город до Крымского моста (участок традиционно является наиболее экологически безопасным);
- 2-й - центральная часть города в пределах *Садового кольца*, где качество воды по нефтепродуктам и металлам заметно колеблется как в течение года, так и вдоль реки, здесь оно низкое;
- 3-й - участок нижнего течения реки, где Курьяновская станция аэрации приводит к увеличению концентрации биогенных элементов (аммония, нитритов, фосфатов), а также нефтепродуктов *часто заметно выше значений ПДК*. Однако данный параметр весьма относительный: неясно *о какой воде идет речь?* Таким образом, методология экологической оценки загрязнения вод разработана неполно и требует нового *экспериментального обоснования*.

Концентрация **ионов железа** в воде Москвы-реки приведена на графиках 18,19. Наличие соединений железа в поверхностных водах свидетельствует о процессах деградации гумусовых веществ почв и эрозии почвенного покрова.

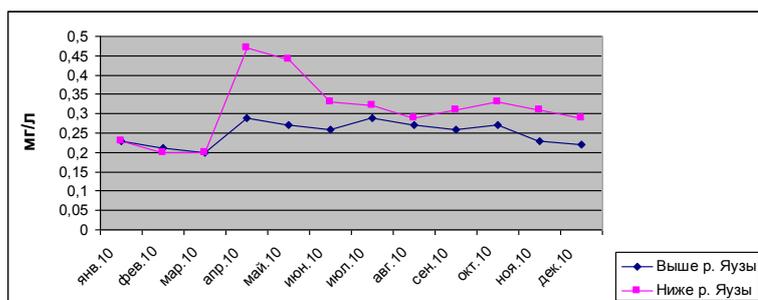


Рис.22. Концентрация ионов Fe(III) в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2010 году.

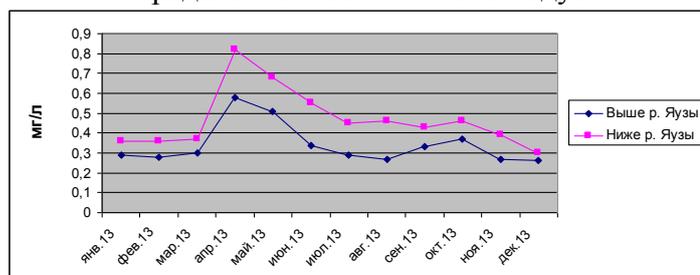


Рис. 23. Концентрация ионов Fe(III) в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2013 г.

Динамика концентраций **соединений железа в воде Москвы-реки** указывает на устойчивый *аккумулятивный тренд* данного химического элемента: ситуация в ландшафтах, окружающих речные бассейны рек, постепенно ухудшается. Это связано также с пожарами, рубками леса и незащищенностью почв растительным покровом – «чистые пары».



Рис. 24. Почвенные профили дерново-подзолов контактно-осветленных супесчаных на двучленных отложениях на Лесной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с четкими Fe-Mn конкрециями и траекториями выноса мигрантов в грунтовые воды (фото И.М. Яшина, 2012).

*Одной из современных причин «ожелезнения» грунтовых и поверхностных вод Европейского Севера является деградация структур гумусовых соединений различных типов почв. Причины здесь самые разные. Визуально и*

аналитически она прослеживается при оценке морфологии почв стационарных участков, например, Лесной дачи РГАУ-МСХА (рис. 20). О формировании и активной водной миграции соединений Fe в форме комплексных органоминеральных соединений свидетельствуют наши экспериментальные данные (см. далее табл. 9).

*Далее рассмотрим сведения по генезису, методам изучения нативных фульвокислот (ФК), как своеобразных продуктов функционирования таежных экосистем Европейской части РФ и их участии в водной миграции соединений железа в ландшафтах и попадании в воды.* При этом нами рассматриваются и анализируются три методологических подхода:

1. Традиционный (химический) подход, основанный на выделении из образцов почв и лесных подстилок препаратов гумусовых веществ, с использованием искусственных (и весьма сильных в химическом отношении) агрессивных минеральных кислот и щелочей.

2. Биохимический подход, опирающийся на приемы экспериментального моделирования в лабораторных условиях, в частности, процесса гумификации растительных остатков.

3. Биогеохимический подход, связанный с оценкой процессов формирования, трансформации и водной миграции компонентов водорастворимых органических веществ (ВОВ) в реальных почвах и ландшафтах тайги с использованием современных (инновационных) методов - сорбционных лизиметров, радиоактивных индикаторов (изотоп  $^{14}\text{C}$ ), а также унифицированной автором аналитической схемы W. Forsyth выделения не измененных - естественных ФК из почвенных растворов.

*До сих пор у почвоведов и экологов не сложилась единая точка зрения на природу ФК.* Например, некоторые немецкие специалисты считают ФК продуктами щелочного гидролиза высокомолекулярных гуминовых веществ. *И это оправдано, если использовать первый (химический) подход при изучении ФК и не вдаваться в детали генезиса почв с Докучаевских позиций.* Чтобы полнее раскрыть генезис и экологические функции ФК, осуществляющих взаимосвязь двух процессов - фотосинтеза и гумусообразования, следует глубже изучить объекты исследований – почвы и ландшафты, а также процессы водной миграции и трансформации веществ на барьерах миграции. ФК в таежной зоне являются незаменимым и важнейшим компонентом поверхностных вод: рек, ручьев, озер, водохранилищ, болот, родников (И.М. Яшин и др., 1989, 1996; И.М. Яшин, 1974, 1993, 2013). В отличие от алифатических органических кислот, ФК в этом отношении проявляют большую устойчивость к воздействию микроорганизмов и склонность к дальней почвенно-геохимической миграции к общим базисам эрозии – морям и океанам. Причем ФК наиболее активно мигрируют с катионами металлов, прежде всего, Fe, Al, Si, Ca и иными.

Биогеохимическое направление было разработано и активно использовалось в полевых (и экспедиционных) изысканиях в ландшафтах

России, в частности, специалистами Тимирязевской школы почвоведов (И.С. Кауричев, И.М. Яшин, 1974, 1989, 1997; А.Д. Фокин, 1975, 1986; А.И. Карпухин, 1986; И.М. Яшин, 1973, 1993, 2002, 2004, 2009, 2013). *Вначале оно носило поисковый характер.* Затем указанные авторы перешли от почв аграрных и лесных экосистем Подмоскovie к более широкому географическому ареалу изысканий, включая и заповедники (фоновые стационары) Европейского Севера РФ – подзолы, болотно-подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-карбонатные «Каргопольской суши», глееподзолистые почвы Архангельской области, подзолы Коми Республики, Карелии и иные (Тува, Казахстан...). ФК при биогеохимическом подходе изучались *системно*: на ионно-молекулярном, почвенном и экосистемном уровнях организации веществ в таежных ландшафтах. Результаты опытов показали, в частности, что индивидуальные (ИОВ фотосинтетической природы) и специфические органические соединения (ФК) в составе ВОВ обычно находятся в известном динамическом равновесии и отражают не только современные (и сезонные) особенности функционирования таежных экосистем, но и своеобразие реализации процесса таежного гумусообразования в форме *биогенного кислотообразования в условиях промывного водного режима, длительного промерзания почв, дефиците азота, кальция и фосфора в подзолистых почвах* (И.М. Яшин, 1993, 2013). Среди компонентов ВОВ с кислотными свойствами диагностированы ингибиторы и стимуляторы роста растений, что и определяет основу биоразнообразия таежных экосистем. Здесь, на наш взгляд, могут быть вещества, представляющие несомненный интерес для защиты культурных растений от аборигенов – диких видов растений, неточно именуемых «сорняками». *С какой целью был дан этот некорректный термин – неясно.*

Биохимический подход - моделирование процессов формирования и трансформации гумусовых веществ (и компонентов ВОВ) в основном проводится в условиях лабораторных экспериментов. Результаты подобных исследований не имеют сколь-нибудь важного научно-практического значения. Это этап своеобразной «тренировки» специалистов и аспирантов перед постановкой более сложных *биогеохимических опытов* в почвах и экосистемах, требующий значительных затрат времени, сил, финансовых вложений и профессиональных знаний. Результаты лабораторных опытов обычно представляют интерес *в сравнительном плане* и удобны для постановки учебных практических работ. Подчеркнем, использование чашек Петри и иных *примитивных «приборов»*, например, для биотестирования без участия почвенной массы, коллоидов и микроорганизмов *в статическом опыте* некорректно и не подлежит даже обсуждению. Напомним, микромодель при экспериментальном моделировании должна примерно соответствовать изучаемому объекту – это принцип адекватности.

Охарактеризуем кратко механизмы нативного формирования ФК.

Авторами предлагаются три механизма образования молекулярных структур ФК в почвах подзолистого типа таежной зоны:

1. ассоциативный,
2. миграционный и
3. комплексообразовательный.

В первом случае при формировании молекулярных структур ФК в лесных подстилках принимают участие, в частности, гидратированные ионы  $Fe^{3+}$ . Они наиболее активно мобилизуются в раствор в иллювиально-железистых горизонтах подзолов – горизонт **В<sub>г</sub>**. Среди мобильных железофульватных комплексов диагностировано 53-67% ионов  $Fe(III)$ , прочно связанных молекулами фульвокислот. Искусственное введение в водный раствор, содержащий железо-фульватные комплексы, **низких концентраций щавелевой кислоты**, наблюдается распад ассоциатов ФК до низкомолекулярных мономеров (И.М. Яшин, 1989, 1993).

Реакции комплексообразования ФК с гидратированными ионными формами  $Fe(III)$ , наряду с перегруппировкой их молекулярных структур, сопровождаются также *pH-эффектом* (скачок pH при титровании) и частичным гидролизом внешнесферных водорастворимых Fe-фульватных комплексов (А.Д. Фокин, 1975, 1986; И.М. Яшин, 1993) – табл. 10.

Миграционный механизм образования ФК был обнаружен и изучен автором в подзолистых почвах подзон южной и средней тайги (И.М. Яшин, 1973, 1993). С помощью метода сорбционных лизиметров выявлена перегруппировка состава ВОВ при их водной нисходящей миграции и при прохождении ими в профиле ряда почвенно-геохимических барьеров миграции: *органогенного ( $O^m$ )*, *сорбционного ( $O^m/A_1$ )*, *элювиально-оглеенного ( $El_g$ ) горизонтов почвы*. В основе указанного механизма, очевидно, лежат сорбционно-комплексообразовательные реакции с минералами (и коллоидами железа) и гетерогенный катализ. Формирование элементарных структурных ячеек ФК неразрывно связано с реакциями трансформации веществ подзолистых почв под влиянием мигрируемых ВОВ с кислотными свойствами и образованием новых мобильных (и специфических) органоминеральных соединений – фульвокислот. Накопленная информация о ФК, на наш взгляд, отражает преимущественно их педогенные и гидрохимические функции. Экологические функции ФК изучены пока неполно: не раскрыта роль ФК в функционировании таежных экосистем, как «передатчика» веществ и энергии по трофическим цепям. Наблюдения показывают, что наиболее выгодными для таежной биоты оказываются те фракции ФК, которые не насыщены ионами металлов и которые являются активными реагентами (и мигрантами) вследствие реализации одной из важных экологических функций экосистемы «самоочищения почвы и биоты» от экотоксикантов. Нативные системы «**молекулярные структуры ФК – соединения железа**» нуждаются в более полном эколого-геохимическом обосновании.

В натуральных опытах установлено также, что низкомолекулярным фракциям ФК принадлежит своеобразная и ведущая роль в почвенно-геохимической миграции, в частности, ионов тяжелых металлов в ландшафтах тайги, а также в модификации и стабилизации коллоидных систем *Si, Fe, Al* (И.М. Яшин, 1972, 1982, 1992, 1993; Г.М. Варшал и др., 1976, 1988, 1993). С помощью метода радиоактивных индикаторов (изотоп  $^{14}\text{C}$ ) на Вилегодском стационаре в Архангельской области были изучены основные статьи баланса новообразованных масс ВОВ. Так, в автоморфных лесных и пахотных почвах наиболее ярко выражены процессы *биodeградации* (глубокой минерализации) компонентов ВОВ: соответственно  $70,4 \pm 4,6$  и  $83,0 \pm 4,1\%$  от их общей массы. В полугидроморфных лесных подзолистых почвах статьи баланса ВОВ менее контрастны: минерализация ВОВ и их накопление в исходном субстрате примерно одинаково (около 30%), а среди ГС в твердой фазе почвы обновляются преимущественно ФК ( $18,2 \pm 0,4\%$  за 2 года). При этом *миграционное обновление ФК* в почвенной матрице выражено весьма слабо и морфологически проявляется в виде *сезонной «потечности» ВОВ* (эффект «занавески» по образному выражению **В.О. Торгульяна**). Сорбционное закрепление ВОВ, мигрирующих из лесных подстилок и опада, минералами подзолистых почв на фоне периодического оглеения и дефицита ионов  $\text{Ca}^{2+}$  крайне незначительное.

**Особенности сезонной динамики морфологических признаков** некоторых типов почв ЛОД рассмотрены ранее на примере *почвенного разреза № 10*, заложенного в июле (квартал 7, пробная площадь «Ф»).

Во многих фациях ЛОД гор. А<sub>1</sub> **сезонно-гумусированный, ложный** (рис. 20). В подзонах северной и средней тайги РФ вообще отсутствует гумусово-аккумулятивный генетический горизонт в автоморфных подзолах, подзолистых и глееподзолистых почвах. Это, на наш взгляд, является одним из экологических феноменов таежного гумусообразования. По-видимому, биоте таежных экосистем невыгодно иметь в почвах развитые органоминеральные горизонты (как в черноземе и серой почвах), а более приемлемы мобильные формы гумуса - органические кислоты и ФК. Таежной биоте необходимы простые химические реагенты для мобилизации в раствор катионов и анионов из алюмосиликатов. При этом весьма ярко по сезонам года проявляется *пульсирующая восходяще-нисходящая и боковая внутрипрофильная (латеральная) миграция ВОВ* (табл.9).

Для восходящей координаты миграции ВОВ характерно заметное преобладание ФК в почвенных растворах и компенсация некоторой массы ВОВ, отчуждаемой за счет гравитационного потока из верхних горизонтов. Например, в лесных подзолах Няндомского стационара с восходящим потоком мигрирует порядка 41-65%  $\text{C}_{\text{орг}}$  ВОВ. По-видимому, *пульсирующий характер* водной миграции ВОВ позволяет биоте наиболее эффективно использовать продукты кислотного гидролиза почвенных минералов

(различные катионы и анионы) с позиции *оценки двухсторонних барьеров миграции* в подзолистых почвах. В частности, при нисходящей внутрипочвенной миграции ВОВ наблюдается насыщение функциональных групп катионами и последующее фракционирование их структур по величинам молекулярных масс (и устойчивости к осаждению). Нижних горизонтов подзолистых почв достигают самые низкомолекулярные компоненты ВОВ, не насыщенные катионами металлов. В принципе, генетические горизонты подзолистой почвы можно рассматривать как природную хроматограмму мобильных органоминеральных мигрантов на известном носителе – песке (в подзолах), суглинке (в подзолистых почвах).

Таблица 9

Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ и их состав в почвах стационарных площадок (И.М. Яшин с соавт, 2004, 2006).

Горизонт и глубина установки колонок, см	Объем воды в приемниках лизиметров, л	С <sub>орг</sub> ВОВ, мг/л			Вынос С <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup> за 1 год	С <sub>орг</sub> ИОВ в составе ВОВ, %	Сорбция и минерал. ВОВ гор. А <sub>1</sub> , % к поступившему
		в приемниках вод	в водо-ацетонном элюате угля (ИОВ)	В аммиачном элюате с угля (ФС)			
<b>Стационарные площадки на ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева</b>							
<b>Парцелла</b> – под кроной дуба. Квартал 13. Разрез 47: дерново-подзолистая легкосуглинистая на морене							
Наблюдения 1 год: июнь 2001-июнь 2002 гг.							
A <sub>0</sub> (O), 3	1,54	2,9	417,4	95,8	<b>38,6</b>	<b>81,3</b>	---
A <sub>1</sub> , 14	1,15	6,3	74,2	186,7	<b>19,7</b>	28,4	49,0
E <sub>hg</sub> , 27	0,93	8,4	35,7	216,8	<b>19,0</b>	14,1	3,6
<b>Парцелла</b> – под кроной лиственницы. Квартал 7. Разрез 15Л. Дерново-подзол контактно-глееватый супесчаный, развитый на двучленных отложениях. Плакор холма. Наблюдения 1 год: июнь 2001-июнь 2002 гг.							
A <sub>0</sub> (O), 2	1,74	<b>11,6</b>	<b>537,3</b>	<b>204,5</b>	<b>55,9</b>	<b>72,4</b>	--
E <sub>h</sub> , 15	1,43	<b>8,8</b>	<b>204,2</b>	<b>371,9</b>	<b>43,4</b>	<b>35,4</b>	<b>22,4</b>
E <sub>hg</sub> , 28	0,84	<b>15,6</b>	<b>114,8</b>	<b>227,3</b>	<b>25,7</b>	<b>33,6</b>	<b>40,8</b>
Квартал 7. Разрез 15Л. Наблюдения в период вегетации: 05.06.01 – 21.09.2001 г.							
A <sub>0</sub> (O), 2	<b>0,25</b>	<b>1,4</b>	<b>89,5</b>	<b>137,1</b>	<b>17,1</b>	<b>39,5</b>	--
E <sub>hg</sub> , 16	<b>0,22</b>	<b>3,6</b>	<b>37,9</b>	<b>88,2</b>	<b>9,5</b>	<b>30,1</b>	<b>44,4</b>
Квартал 7. Разрез 15Л. Наблюдения в абиогенный период: 15.10.01- 21.05.2002 гг.							
A <sub>0</sub> (O), 2	<b>1,22</b>	<b>4,8</b>	<b>313,7</b>	<b>184,2</b>	<b>37,5</b>	<b>63,0</b>	--
E <sub>hg</sub> , 29	<b>1,37</b>	<b>11,5</b>	<b>176,3</b>	<b>219,8</b>	<b>29,8</b>	<b>44,5</b>	<b>20,5</b>
Квартал 7. Разрез 15Л. Опыт по изучению восходящей миграции: 15.10.01 – 21.05. 2002 гг.							
E <sub>hg</sub> , 28	--	--	<b>74,2</b>	<b>192,8</b>	<b>20,1</b>	<b>27,8</b>	<b>Возврат 53,6 %</b>

**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.

Тогда становится более понятной роль *пульсирующей миграции* в эффективном кислотном гидролизе почвенных минералов: при нисходящей миграции ВОВ не только заметно трансформируются в новые формы мобильных гумусовых веществ – ФК, но и дифференцируются по молекулярным массам и кислотности. **Возвращаясь при восходящей миграции**, молекулы ФК более эффективно воздействуют на почвенные минералы, уже частично лишённые катионов нисходящим потоком ВОВ. Изучаемый нами процесс таежного гумусообразования на Европейском севере России своеобразен, а выявленные экологические особенности не укладываются в традиционные рамки представлений, *основанных на химическом подходе* познания гумусовых соединений. Вместо образования высокомолекулярных гуминоподобных веществ (ГВ - их функции выполняют биополимеры лесной подстилки и опада) в почвах нативных таежных экосистем мигрируют низкомолекулярные и весьма разнообразные по составу и свойствам компоненты ВОВ с ярко выраженными кислотными свойствами. Они, очевидно, отражают один из уникальных экологических механизмов адаптации биоты к экстремальным (холодным, элювиальным) условиям таежных ландшафтов.

Данные, обобщенные в табл.9,10, свидетельствуют об активной *мобилизации в раствор соединений Fe и их водной миграции*. **Заметная часть мигрантов достигает поверхностных вод, например, Москвы-реки.** Завуалированный компонентами ВОВ иллювиально-железистый горизонт, является деградированным сорбционным барьером миграции. Судя по масштабу миграции ВОВ, в нем наблюдается вынос органических веществ в сравнении с выше лежащим подзолистым горизонтом E<sub>h</sub>. Последний сезонно «прокрашивается» компонентами ВОВ и Fe-органическими соединениями.

На основе полученной информации предлагается **унифицировать существующую систему показателей гумусового состояния таежных почв подзолистого типа для европейского Севера.**

Таблица 10

Форма и масштаб нисходящей миграции соединений **железа и компонентов ВОВ** в дерново-подзоле на двучленах (плакор ЛОД; Экспозиция: 15.07 – 04.12.2010).

Горизонт и глубина закладки СЛ, см	C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup> в элюатах из сорбентов сорбционных лизиметров				Масса ионов Fe, прочно связанных ВОВ, %	Масштаб миграции ионов железа, мг/м <sup>2</sup>
	Общий масштаб миграции	в водо-ацетоновом элюате с угля (ИОВ)	в аммиачном элюате с угля (ФК)	в Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
A <sub>0</sub> -3	23,5±7,9	7,6±4,2	13,4±8,3	2,5±1,8	59,1±23,4	254±32,6
E <sub>h</sub> -12	7,6±2,3	2,1±0,7	4,5±1,8	1,0±0,7	65,2±29,1	116±19,7
B <sub>fg</sub> - 49	11,5±4,6	4,9±1,5	6,3±2,5	0,3±0,1	67,7±34,6	263±41,1

\*В работе участвовала дипломница **Наумова Е.**

1. Параметр  $C_{гк}/C_{фк}$  необходимо дополнить другим:  $C_{фк}/C_{вов}$ , имеющим и экологический смысл, и генетическое обоснование. При этом  $C_{орг}$  ВОВ идентифицируется не в лабораторных водных вытяжках из образцов почв, а диагностируется на стационарах как параметр водной миграции ВОВ по генетическим горизонтам.

2. Предполагается также использовать экспериментально установленные в реальных почвах и ландшафтах коэффициенты **мобилизации**  $k_{моб}$  и миграции  $k_{миг}$ , а также градиенты оценки барьеров миграции **G**. Их расчет и новая методология изучения водной миграции веществ в почвенном покрове изложены в монографии (И.М. Яшин, В.А. Раскатов, Л.Л. Шишов, 2003).

Констатируется: *химический подход*, явно доминирующий при изучении гумусовых веществ, имеет известные недостатки и ограничения. Обозначим их. Во-первых, В опытах используются весьма активные реагенты, которых нет в таежных экосистемах. Во-вторых, сильные кислоты и щелочи вызывают радикальное разрушение исходной системы гумусовых веществ и минералов почвы: этот факт однако не вызывает озабоченности у почвоведов. В-третьих, получаемые результаты не поддаются однозначной (как в органической химии и биохимии) интерпретации, поскольку очень сложно создать и стандартные образцы гумуса. В-четвертых, после применения для десорбции гумусовых веществ из почв растворов сильных электролитов исправить методологическую ошибку уже не удастся (это относится и к «стандартному» химическому методу ХАД препаративного выделения гумусовых соединений, рекомендуемому Международным Обществом Гуминовых Веществ (IHSS, Swift R.S., 1996, p.1011-1069). В-пятых, добытые научные сведения практически нельзя экстраполировать на нативные почвы и экосистемы, а созданные на их основе математические модели, например, кинетики гумификации, имеют частное и познавательное значение.

Перечисленные особенности традиционного (*химического*) подхода в познании гумусовых веществ способствовали познанию состава, структуры и свойств гумуса в *основном почв агроландшафтов*. Для дальнейшего обоснования генезиса и функций гумусовых веществ необходимо внедрять экологическую методологию.

Продолжим рассмотрение качества и загрязнения вод Москвы-реки в столичном мегаполисе. Концентрация **ионов аммония в речных водах** приведена на рис.21,22. Загрязнение поверхностных вод Москвы-реки ионами аммония устойчивое. Оно связано как с неочищенными стоками

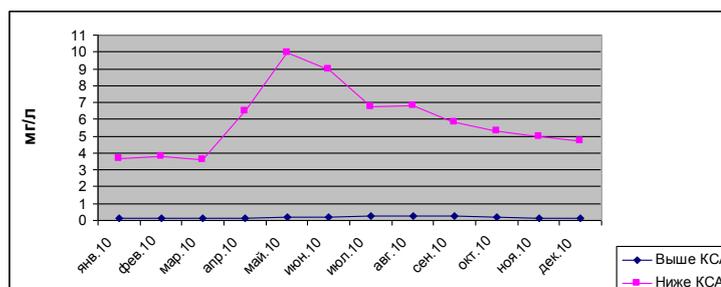


Рис. 25. Концентрация аммонийного азота в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2010 г.

(ниже Курьяновской станции аэрации - КСА), так и со смывом удобрений с полей в местные базисы эрозии при их нерациональном внесении. Динамика концентрации ионов аммония в речных водах *имеет благоприятный тренд*: в сравнении с 2010 г., когда в воде диагностировалось 10,3 мг/л ионов  $\text{NH}_4^+$ , в 2013 г. отмечено только 2,6 мг/л ионов аммония.

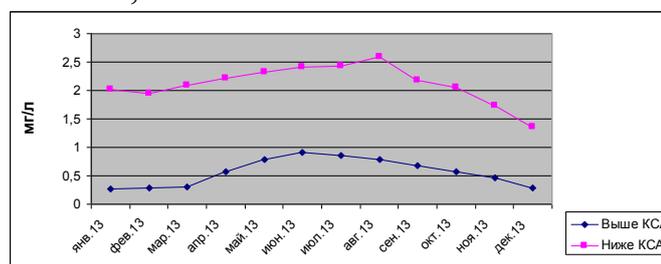


Рис. 26. Концентрация аммонийного азота в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2013 г.

Сезонная динамика биологического потребления кислорода (БПК) имеет два *выраженных максимума*: весной, т.е. в период наиболее интенсивного поступления талых вод и осенью, в период активного выпадения атмосферных осадков и поступления их в реки (рис. 23,24).

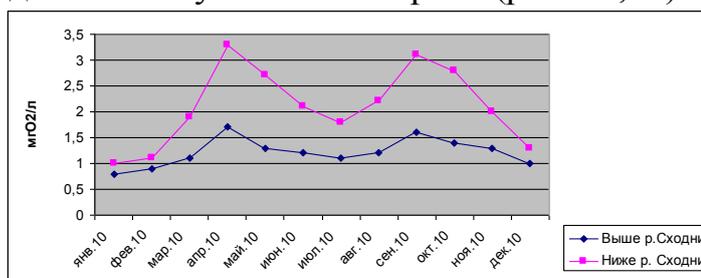


Рис.27. Изменение концентрации биологического потребления кислорода в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2010 г.

При этом в 2013 году отмечен сдвиг БПК в осенний период, что обусловлено спецификой водного баланса ландшафтов и почв (и выпадением осадков). Максимальные количества нефтепродуктов в речных водах наблюдались ежегодно в период *весеннего половодья и в осеннюю межень*. По-видимому, сбросы нефтепродуктов попадают в Москву-реку преимущественно с поверхностными водами и плохо очищенными стоками (рис. 58-60). Так, в воде р. Сходня концентрация нефтепродуктов варьировала в сезонном и

годовом циклах в пределах 0,24-0,43 мг/л с заметным уменьшением концентрации экотоксиканта в 2012 году – 0,15 мг/л. *Наиболее активное*

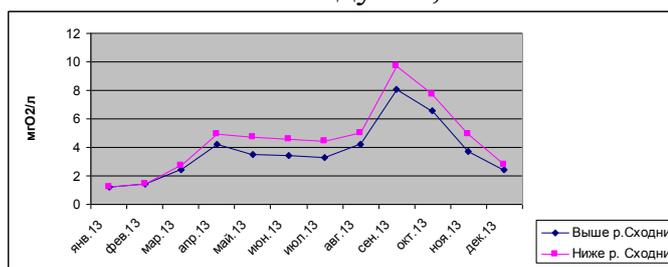


Рис.28. Изменение концентрации биологического потребления кислорода в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2013 г.

загрязнение Москва-реки вызывают воды реки Яузы. До впадения этой реки концентрация нефтепродуктов в воде заметно меньше, чем ниже по течению.

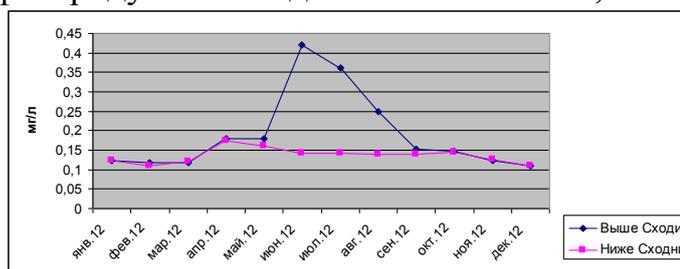


Рис.29. Концентрация нефтепродуктов в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2012 г.

**Нефтепродукты** способствуют формированию на поверхности водоема очень *тонкой «радужной» пленки* (такие пятна нередки на воде), которая резко уменьшает кислородный обмен на границе воздух – вода. Поэтому часто ощущается дефицит кислорода в воде, опасный для биоты – рыбы, рачков. Нефтепродукты, попавшие в речные воды, содержат различные классы органических веществ, отличающихся по токсичности, устойчивости к осаждению и способности к дальней водной миграции. Наиболее опасными для биоты являются *легко летучие фракции нефти*. Тяжелые компоненты нефтепродуктов довольно быстро осаждаются, образуя на дне реки черные вязкие сгустки. Постепенно вещества сгустков (смолы, воск, гудрон и иные - ароматические вещества гидрофобного характера) трансформируются, загрязняя воду и донные осадки.

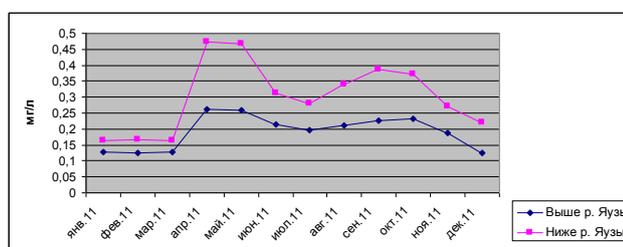


Рис.30. Концентрация нефтепродуктов в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2011 г.

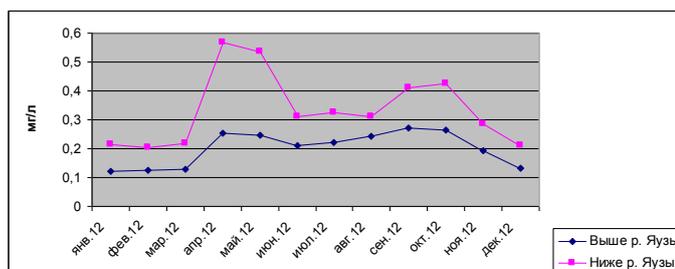


Рис.31. Концентрация нефтепродуктов в воде контрольных створов Москвы-реки в пределах г. Москвы в 2013 г.

Их экотоксическое действие иное – пролонгированное. Данные вещества весьма негативно влияют на жизнедеятельность рачков-фильтраторов воды и иных гидробионтов.

Очистка речной воды гидробионтами заметно ухудшается. Получается *двойное негативное воздействие нефтепродуктов* на качество воды и биоту: сверху образуется пленка поверхностно-активных веществ, затрудняющих воздухообмен, а снизу – в донных осадках - накапливаются гидрофобные органические вещества (экотоксиканты) пролонгированного действия.

Результаты опытов, приведенные в таблице 11, указывают на высокую динамику гидрохимического состава вод Москвы-реки в пределах изучаемых створов. Это связано с турбулентностью водных потоков. Причем наряду с экотоксикантами в речные воды *сбрасываются «залповые» стоки, имеющие повышенную температуру*. Это характерно для р. Сетунь, Сходня и участка п. Рублево, где в период отбора проб воды ее температура варьировала в пределах 23,1-27,3<sup>0</sup>С.

В речных водах преобладают педогенные химические элементы – кальций, магний, калий, натрий. Концентрация растворимых в воде форм тяжелых металлов – низкая. В речных водах отмечена повышенная концентрация нитрат-анионов и аммонийных катионов, которые совместно с фосфатами способствуют *эвтрофикации стариц Москва-реки*.

**Донные осадки Москвы-реки** заметно загрязнены тяжелыми металлами и нефтепродуктами (рис.28,29). Среди первых преобладают *марганец и цинк*. Экологическая ситуация к 2012 году по загрязнению донных осадков не улучшилась. Хотя известно, что зимой «Мосводоканал» и «Мосводосток» периодически открывают шлюзы на некоторых водохранилищах и с помощью гидроудара эффективно промывается русло Москвы-реки.

## Выводы

1. Экологическую ситуацию «обостряют» *Курьяновская и Люберецкая станции аэрации*, расположенные на «выходе» из столицы. Эти станции

должны основательно очищать промышленные и бытовые стоки; однако экологическое качество воды оказывается низким. Очевидно, указанные станции не справляются с возросшими объемами стоков и требуют реконструкции.

Таблица 11  
Концентрации растворимых веществ (мг/л) в притоках Москва-реки за 1-3 кв. 2014 г.

Вещ-ва и х.э.	Изучаемые воды створов и притоков Москва-реки										
	ниже п. Рублево			Спасский мост			ниже Сходни			выше Сетуни	
<b>NH<sup>4+</sup></b>	0,12 6	0,175	0,159	<b>0,33</b>	<b>0,27</b>	0,35	0,21	0,22	0,2	0,21	0,22
<b>NO<sup>2-</sup></b>	0,08 8	0,121	0,085	0,11 8	0,127	0,07	0,084	0,24	0,135	0,086	0,24
<b>NO<sup>3-</sup></b>	<b>1,77</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>1,3</b>	<b>4</b>	0,89	<b>4</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>2,1</b>
<b>Fe</b>	0,1	0,11	0,08		0,141	0,092		0,23 3	0,11		0,233
<b>Mn</b>		0,059	0,037		0,045	0,035		0,06 1	0,04		0,061
<b>Cu</b>		0,001	0,0029		0,001	0,0028		0,00 29	0,0025		0,0029
<b>Zn</b>		0,005	0,005		0,005	0,005		0,00 55	0,0054		0,0055
<b>Ni</b>		0,001	0,001		0,001	0,001		0,00 1	0,001		0,001
<b>Pb</b>		0,001	0,001		0,001	0,001		0,00 1	0,001		0,001
<b>Co</b>		0,001	0,001		0,001	0,001		0,00 1	0,001		0,001
<b>Al</b>	0,04	0,0785	0,0695		0,083	0,053		0,15 1	0,09		0,151
<b>Фенол</b>	0,00 26	0,005	0,009	0,00 27	0,005	0,01	0,0024	0,00 6	0,009	0,003	0,006
<b>Форма льдегид</b>	0,05 3	0,02	0,022	0,04 8	0,02	0,02	0,022	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Ан. ПАВ</b>	0,02 5	0,025	0,025	0,02 5	0,034	0,025	0,025	0,02 8	0,025	0,025	0,028
<b>S-</b>	0,00 3	0,002	0,002	0,00 5	0,002	0,003	0,004	0,00 2	0,004	0,002	0,002
<b>As</b>		0,0077	0,005		0,005	0,005		0,00 5	0,005		0,005
<b>Cr</b>		0,001	0,001		0,001	0,001		0,00 1	0,001		0,001
<b>Ca</b>		<b>52,1</b>	<b>59,1</b>		<b>50,3</b>	<b>58,6</b>		40,4	53,7		40,4
<b>Mg</b>		<b>13,5</b>	<b>17,1</b>		<b>13,9</b>	<b>17,2</b>		11	16		11
<b>K</b>		<b>2,6</b>	<b>3,09</b>		<b>2,7</b>	<b>3,27</b>		<b>2,6</b>	<b>3,17</b>		<b>2,6</b>
<b>Cr<sup>6+</sup></b>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>t°С</b>	<b>23,4</b>	<b>18,9</b>	14,1	<b>23,1</b>	19,8	15,2	<b>22,3</b>	<b>25,0</b>	15,5	<b>27,3</b>	<b>25,0</b>
<b>F-</b>	0,28	0,12	<b>1,3</b>	<b>0,36</b>	0,3	0,3	0,26	0,46	0,35	0,1	0,46
<b>Na</b>		<b>10,9</b>	<b>14,3</b>		11,3	<b>14,9</b>		11,7	<b>14,3</b>		<b>11,7</b>
<b>Mo</b>		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001	0,001		0,001

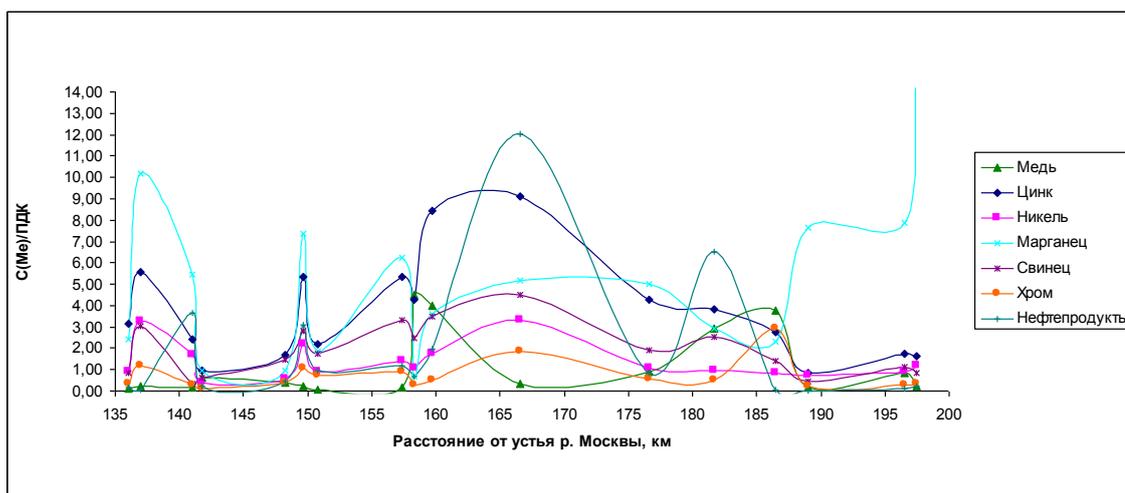


Рис. 28. Загрязнённость донных осадков Москвы-реки ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами в черте г. Москвы (отбор проб - июль 2010 г.).

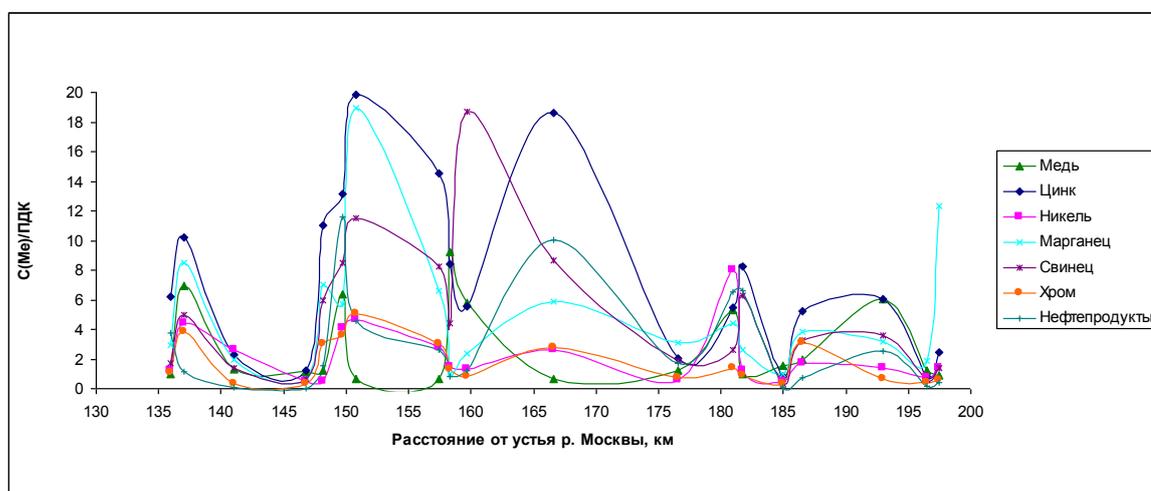


Рис. 29. Загрязнённость донных осадков Москвы-реки ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами в черте г. Москвы; отбор проб - июль 2012 г. (Сведения по загрязнению донных осадков **на рис. 64,65** соответствуют следующим точкам отбора проб: 136 км – 100 м выше Бесединского моста; 137 км – устье р. Городни, 141 км – 200 м ниже Братеевского моста; 146,8 км – ниже ОКСА; 148 км – выше ОКСА; 149,7 км – устье р. Нищенки; 150,8 км – выше Перервинской плотины; 157,4 км – р-н ЗИЛа; 158,3 км – 5 м ниже устья р. Котловки; 159,7 км – 20 м ниже устья р. Чуры; 166,6 км – 20 м ниже устья р. Яузы, 176,6 км – 20 м ниже устья р. Сетунь, 181,7 км – 20 м ниже устья ручей Ваганьковский Студенец; 186,5 км – 5 м ниже устья р. Таракановки; 189 км – 200 м выше шлюза №9; 196,5 км – ниже устья р. Сходни; 197,5 км – выше устья р. Сходни).

2. Динамика концентраций соединений железа в воде Москвы-реки указывает на устойчивый *аккумулятивный тренд* данного химического элемента. Это значит, что экологическая ситуация в ландшафтах и почвах, окружающих речные бассейны рек в Подмосковье, *постепенно ухудшается*. Чему способствуют усиливающаяся эрозия почв, рубки лесов и жилые постройки в водоохраных зонах рек, водохранилищ, а также большое число неконтролируемых свалок в поймах рек: наблюдается химическое загрязнение

почв, овощной продукции и грунтовых вод. Здесь необходимы дальнейшие исследования.

3. Максимальные количества компонентов нефтепродуктов в речных водах наблюдались ежегодно в период *весеннего половодья и в осеннюю межень*. По-видимому, сбросы нефтепродуктов попадают в Москву-реку преимущественно с поверхностными и плохо очищенными производственными стоками предприятий.

4. Установлено заметное преобладание величин ХПК (химического потребления кислорода в воде) над БПК (биологическим потреблением кислорода), что указывает косвенно на присутствие значительного количества органических веществ не только педогенной, но и антропогенной природы (моющие средства, нефтепродукты, СПАВы).

### Словарь терминов (глоссарий)

**Адаптация** – совокупность морфофизиологических, поведенческих, популяционных и др. особенностей биологического вида, обеспечивающая возможность специфического образа жизни особей в определенных условиях внешней среды; также сам процесс выработки приспособлений.

**Ареал** – область распространения на земной поверхности тех или иных видов (родов, семейств и т.д.) животных и растений; на географических картах ареал передается путем ограничения его линиями разного цвета и рисунка, окраской, штриховкой и др. приемами.

**Биоиндикаторы** – организмы, присутствие, количество или интенсивность развития которых служит показателем каких-либо естественных процессов или условий окружающей среды, наличия определенных веществ в воде или в почве, степени загрязненности и др.

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

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

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

**Биосфера Земли** – область активной жизни, охватывающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу, верхнюю часть литосферы, почвенный покров и биоту. В биосфере живые организмы (живое вещество) и места их обитания (ландшафты, экосистемы...) неразрывно связаны и активно взаимодействуют друг с другом миллионы лет. В результате образовалась неравновесная, но устойчивая и динамичная мегасистема. Термин «биосфера» введен в 1875

году немецким специалистом Э. Зюссом. Учение о биосфере, как об активной и своеобразной оболочке Земли, в которой роль живых организмов проявляется на уровне планетарного геохимического фактора, создано В.И. Вернадским (1924-1926 гг.) в эмиграции, где он читал лекции в Сорбонском университете. Создавая учение о биосфере, В.И. Вернадский заложил основы учения о ноосфере – сфере разумной деятельности человеческой популяции на Земле. Однако почти все постулаты его концепции пока остаются невыполнимыми. Он прогнозировал экологическую катастрофу, если промышленная деятельность человечества не будет следовать определенным правилам. Пока негативные прогнозы В.И. Вернадского сбываются. Но биосфера может и сама «защищаться» от человеческой популяции в форме различных природных катастроф, как бы указывая место и значение людей на Земле.

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

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

**Витальная зона** – область жизни.

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

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

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

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

**Космополиты** – виды (роды, семейства и т. п.) растений и животных, обитающие по всему (или почти по всему) земному шару; космополитами

являются, напр., злаки, воробьиные птицы; космополитов противопоставляют эндемикам.

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

**Мониторинг** – наблюдение за состоянием окружающей среды (атмосферы, гидросферы, почвенно-растительного покрова, а также техногенных систем) с целью ее контроля, управления, прогноза и охраны; различают глобальный, региональный и локальный уровни мониторинга. Методы мониторинга изложены в курсе «Методы экологических исследований».

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

**Острая токсичность** – эффекты, возникающие в течение 24 ч от введения одной или нескольких доз вещества.

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

**Пероксиацетилнитраты** (ПАН) – эфиры пероксиазотной кислоты общей формулы R-O-O-NO<sub>2</sub>, где R-алкил, ацил; обнаружены в воздухе, как продукты фотохимического смога; обладают сильным фитотоксическим и слезоточивым (особенно бензоилпероксинитрат) действием; взрывоопасны.

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

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

**Предельно допустимая концентрация вещества в окружающей среде** (ПДК) – максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме человека; является гигиеническим критерием при оценке

санитарного состояния атмосферного воздуха, водоемов, продуктов питания и т. д.); в Российской Федерации устанавливается законодательно для каждого вредного вещества. Для почв и ландшафтов ПДК пока не обоснованы и весьма ориентировочны.

**ПДК<sub>водн.</sub>** - максимальная концентрация вещества в воде, в которой вещество при поступлении в организм в течение всей жизни не оказывает прямого или опосредованного влияния на здоровье населения в настоящем и последующих поколениях, а также не ухудшает гигиенические условия водопользования.

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

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

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

**Синузия** – структурная часть фитоценоза, одноярусная группировка растений в пределах фитоценоза, сформированная в определенных экологических условиях, территориально компактная или разобшенная, с наличием взаимоотношений между компонентами или без них; *в лесах умеренного пояса несколько синузий*: ярусные (деревья, кустарники), кустарнички, травянистый покров, эпифитные (лишайники, мхи на деревьях), почвенные животные.

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

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

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

**Стресс** – состояние напряжения организма – совокупность физиологических реакций, возникающих в живом организме в ответ на воздействие различных исключительно благоприятных или неблагоприятных факторов; также состояние экосистемы, испытывающей напряжение

вследствие действия повреждающих факторов, нарушающих ее вещественно-энергетический баланс.

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

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

**Тест-организмы** (см. биотесты).

**Токсиканты** – ядовитые вещества.

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

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

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

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

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

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

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

**Фитоиндикация** – биоиндикация, использующая в качестве биообъектов растения.

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

**Фитотоксичность** – свойство некоторых химических агентов окружающей среды нарушать нормальное течение физиологических процессов в растительных объектах, а также свойство сред, содержащих эти агенты.

**Эврибионты** – организмы, способные переносить значительные изменения условий окружающей среды, например, морские звезды,

обитающие в приливно-отливной зоне (литорали), переносят осушение во время отлива, сильное нагревание – летом, охлаждение (даже промерзание) – зимой. Противоположность – стенобионты.

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

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

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

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

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

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

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

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

## Литература

1. Васенев И.И., Таргульян В.О. Ветровал и таежное почвообразование (*режимы, процессы, морфогенез почвенных сукцессий*). М.: Наука. 1995. – 247 с.
2. Яшин И.М., Кауричев И.С. Роль низкомолекулярных органических кислот в абиогенной трансформации гумусовых веществ почв таежно-лесной зоны // Известия ТСХА. 1992. Вып. 5. - С. 36-49.
3. Яшин И.М., Кауричев И.С. Особенности процессов глее- и подзолообразования в почвах таёжных экосистем // Известия ТСХА. 1996. Вып. 1. - С. 79-97.
4. Яшин И.М., Кауричев И.С., Черников В.А. Экологические аспекты гумусообразования // Известия ТСХА. 1996. Вып. 1. - С. 110-129.
5. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Почвенно-экологические исследования в ландшафтах. Учебное пособие. М.: МСХА, 2000. - 560 с.
6. 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.
7. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Петухова А.А. Эко-геохимическая оценка почв и лесопарковых фаций Петрозаводска // Известия ТСХА. 2011, Вып. 4, С. 30-43.
8. 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.
9. Яшин И.М. Элементы симметрии и асимметрии почвенного покрова таежно-лесной зоны // Известия ТСХА .1988. Вып. 2. - С. 78-86.
10. Яшин И.М. Водная миграция веществ в глееподзолистых почвах северной тайги // Известия ТСХА. 2006. Вып. 4. - С. 21- 27.
11. 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.
12. 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.
13. Яшин И.М. Мониторинг процессов миграции и трансформации веществ в почвах. М.: РГАУ-МСХА. 2013. – 183 с.
14. Яшин И.М., Гавриков Г.Г. Элементарные структуры почвенного покрова южной части Архангельской области // Известия ТСХА. 1986. Вып. 6. – С. 73-84.
15. Яшин И.М., Карпачевский Л.О. Экогеохимия ландшафтов. Учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2010. – 224 с.

16. 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.
17. Яшин И.М., Васенев И.И., Гареева И.Е., Атенбеков Р.А. Экологический мониторинг воздействия антропогенеза на поверхностные воды. Учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА. 2015. -167 с.
18. Anderson H.A., Berrow M.L., Farmer V.C., Herburn A., Russel J.D., Walker A.D. A reassessment of podzol formation processes. (*Переоценка сущности процессов подзолообразования*) // J. Soil Sci. 1982. 33. N 1. P. 125-136.
19. Forsyth W.G. Studies on the more soluble complexes of soil organic matter (*Фракционирование фульвокислот почвы на активированном угле*) // J. Biochem. 1947. - V. 41, N 2. P. 176-181.
20. Philips J.R. The theory of infiltration // Soil Sci. 1957, 1958, N 83. P. 345-357, 435-448; N 84. P. 163-177, 257-264, 329-339; N 85. P. 278-286, 333-337, various pages.

**Учебное издание**

**ПУТЕВОДИТЕЛЬ  
ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСКУРСИИ ПО  
ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧЕ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА  
(для участников Международной летней экологической школы)**

Яшин Иван Михайлович,  
Васенев Иван Иванович,  
Атенбеков Рамиз Ажибекович

**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 11.10.2016	
Подписано в печать	17.07.15	Формат 1/16
Гарнитура «Таймс»	Бумага офсетная	Печать офсетная
Усл. печ.л. 15,9	Уч.-изд.л.	Усл. кр.- отт.
Тираж 500 экз.	Изд. № 36	Заказ №

---

АНО «Издательство РГАУ- МСХА»  
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 44