

УДК 504.54:631.42

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЧВ ЛЕСНЫХ И ЛЕСОПАРКОВЫХ ЛАНДШАФТОВ НИЗОВЬЯ р. СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ\*

И. М. ЯШИН, Е. В. МУХИН, А. И. КАРПУХИН

(Кафедры экологии и почвоведения)

На основе результатов полевых (2001-2003 гг.) маршрутных исследований на стационарах «Холмогорский» и «Малые Корель» проведена эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова лесных и лесопарковых ландшафтов низовья р. Сев. Двины Архангельской обл. Представлена новая информация о генетических особенностях почв, их таксономии (согласно новой классификации), деградации почвенно-геохимических барьеров, процессах почвообразования (оглеение, оподзоливание, лессиваж...) и абиогенной миграции ряда химических соединений.

Констатируется, в частности, что масштаб миграции водорастворимых органических веществ (ВОВ), их состав и свойства наряду с миграцией экотоксикантов и сукцессиями биоты является важным и эффективным диагностическим параметром, с помощью которого можно уточнить особенности современной эволюции и загрязнения почв. Полученные сведения помогут также усовершенствовать абстрактные показатели ПДК для почв, разработанные без учета ландшафтной обстановки, специфики почвообразования и генезиса почв на основе только санитарно-гигиенического подхода.

О почвах низовья р. Сев. Двины, как и о других регионах Архангельской обл., накоплено много различных сведений, которые обобщены в последнем библиографическом издании (печатный и электронный варианты) под редакцией Л. А. Варфоломеева (2002). Например, крупномасштабное картографирование почв с.-х. угодий, лесов и болот началось в 50-х годах прошлого столетия. Наряду с региональными в них активно участвовали почвоведы ведущих почвоведческих школ: Тимирязевской академии, МГУ им. М. В. Ломоносова и С.-Петербургского университета, Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева и Института

географии РАН. Была получена базовая информация в области генезиса, географии и химии почв. В то же время оставались неполно изученными процессы почвообразования и эколого-геохимическая оценка миграции некоторых продуктов выветривания и ряда экотоксикантов. Данному вопросу и посвящено настоящее сообщение.

### Объекты

Современная долина р. Сев. Двины в нижнем течении имеет четко выраженные материковую и островную поймы разновысокого уровня (1,5—7 м над у. м.). В настоящее время данные территории сильно закустарены

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: гранты 02-04-48791 и 02-04-63043.

и залесены. Несмотря на это, они широко используются в качестве высокопродуктивных сенокосов. Северодвинская долина пролегает по Приморской (Беломорской — *И.Я.*) низменности, образованной зандровыми и озерно-ледниковыми террасированными равнинами разного генезиса и сложения с абсолютными отметками 5~25 м, редко более 40 м над у. м. Поверхность надпойменных террас р. Сев. Двины заметно осложнена сильно выположенными озами и камами в виде невысоких (относительные отметки 2-9 м и более) холмов и увалов, сложенных тонкозернистыми песками и глинами лимногляциального генезиса. Они ориентированы обычно вдоль русла р. Сев. Двины. На левом коренном берегу реки более широко распространены флювиогляциальные камы и озы, состоящие главным образом из косо-слоистых крупнозернистых (несортированных) песков с прослоями гравия, гальки и валунов. В осадочных толщах юго-западной части Беломорско-Кулойского плато на глубине ~ 100 м в 90 км от г. Архангельска (в 80-х годах прошлого столетия) было разведано крупное месторождение алмазов (трубки<sup>1</sup> им. М. В. Ломоносова, Пионерская...). Их промышленная добыча открытым способом начата летом 2003 г. В ту же время геологи установили, что в кимберлитовых породах Беломорья находится много тяжелых металлов (ТМ), мг/кг валовых форм: хрома — 430-2554; никеля — 471-1800; ванадия — 21—760. Наряду с ними также выявлены высокие концентрации Sr и Ba, соответственно: 363-2400 и 285-1025 мг/кг (исходя из возраста пород). Источником указан-

ных химических элементов могут быть продукты кимберлитового магматизма [20]. Причем допускается, что при формировании речных палеодолин часть кимберлитовых трубок была разрушена, а их материал переотложился в четвертичные почвообразующие и подстилающие породы по периферии залегания трубок взрыва — в ареолах рассеивания. Затем при гипергенезе часть массы ТМ перешла в мобильные формы и была поглощена минералами донных отложений и палеопочв<sup>2</sup>. Последние полевые изыскания специалистов Ин-та экологических проблем Севера показали, что с разломами в осадочных толщах земной коры связана их повышенная радиоактивность (Ф. Н. Юдахин, 2002; Г. П. Киселев с соавт., 2002).

Таким образом, изучаемый регион нижнего течения р. Сев. Двины уникален как в почвенно-геохимическом, так и в оро-литогенном отношении. Поэтому он и был выбран нами для фонового почвенного мониторинга, оценки эколого-геохимического состояния почвенного покрова и уточнения движущих сил, обуславливающих активную абиогенную (водную) миграцию ТМ в ландшафтах и почвах.

#### Методика

При исследовании масштаба вертикальной нисходящей миграции тяжелых металлов, а также ВОВ и их состава в почвах стационаров были апробированы разные типы сорбентов: активированный уголь («карболен» и БАУ), оксид алюминия и ионообменные смолы. Каждый из сорбентов в отдельности обладает теми или иными преимуществами в отношении сорбции органоминеральных соеди-

<sup>1</sup> Рабочая (самая верхняя) поверхность трубок взрыва варьирует в пределах 400-1000 м<sup>2</sup> и более [21].

<sup>2</sup> Изучение данной проблемы важно не только для зоны добычи алмазов, но и всей придельтовой территории р. Сев. Двины — ландшафтов активного палео- и современного осадконакопления.

нений и ВОВ [25]. Их комбинированное использование в сорбционных лизиметрах позволяет более полно и достаточно эффективно установить особенности абиогенной миграции веществ.

В таежном лесу сорбционные лизиметры с приемниками вод устанавливали в почвенном профиле под кронами модельных деревьев, в «окнах» между ними, под типичными моховыми кочками и лесной подстилкой (гор. А<sub>2</sub> А<sub>7</sub><sup>т</sup>). Лизиметры закладывали в 1988-1990 и 2001-2003 гг. в 2-4-кратной повторности под основные генетические горизонты глее-подзолистых почв, подзолов и в почвах дельты р. Сев. Двины.

Исходя из задачи эксперимента использовали следующие типы сорбентов: активированный уголь, размер частиц 0,25-0,1 мм, основной оксид алюминия для хроматографии, ионообменные синтетические смолы (катионит КУ-2 в Н<sup>+</sup> форме и аниониты: полифункциональный ЭДЭ-10п и монофункциональный АВ-17 в ОН<sup>-</sup> форме). Подготовка сорбентов к опытам, технология десорбции поглощенных соединений, анализ групп ВОВ в элюатах (низкомолекулярных органических кислот, полифенолов, фульвосоединений и других веществ) изложены в работах [22, 23, 26].

**В сорбционных колонках** оксид алюминия в смеси с песком располагали слоем 1,5-2,5 см обычно в нижней части колонки<sup>1</sup>, а в верхней — низкокостный активированный уголь «карболен» (частицы < 0,5 мм). Сорбенты разделяли 3-сантиметровым слоем чистого кварцевого песка, отмытого от железа. Контакт рабочей поверхности колонок с потолком ниш в горизонтах осуществлялся через 2-

3-сантиметровый слой песка, который хорошо предохранял сорбент — активированный уголь от заиливания. Новообразованные группы ВОВ, поступившие в сорбционные колонки и сорбированные углем, затем последовательно элюировали в лаборатории в динамических условиях (со скоростью 30-40 мл/ч) 90% водным ацетоном (400-500 мл), водой и 2% водным NH<sub>4</sub>OH (450-600 мл). В слоях песка, как и в Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, определяли содержание общего органического углерода по Тюрину. Проводили также анализ состава воды, поступившей в приемные сосуды лизиметров. Для десорбции углерода ВОВ из катионита КУ-2 в Н<sup>+</sup> форме использовали 1 н. водный раствор HCl, а из анионитов (АВ-17 и ЭДЭ-10п) в ОН<sup>-</sup> форме — 0,1 н. водный раствор NaOH. Расчет величин масштаба миграции и градиента барьеров миграции проводили согласно [26].

Трансформацию ряда химических соединений изучали в стеклянных фильтрах-воронках № 3 объемом 600 см<sup>3</sup>. Корпус колонок, устанавливаемых под генетические горизонты в 2-3-кратной повторности, полностью опоясывали лейкопластырем. В колонках снизу вверх последовательно располагали слой песка, 40-50 г угля марки «карболен» (частицы < 0,25 мм), 2 слоя чистой капроновой ткани и мокрого песка. На верхний слой песка (в лаборатории) осаждали по 106,7 мг C<sub>орг</sub> отдиализованных в течение 95 сут гидрогелей гуминовых кислот (ГК), которые препаративно выделяли из гор. А<sub>0</sub>А<sub>1</sub> сильноподзолистой почвы (стационар «Белый Раст» Московской обл.). Перед заполнением сорбционных колонок осуществляли перевод гуматов натрия в ГК путем

<sup>1</sup> Подобное расположение позволяет эффективно регулировать скорость инфильтрации почвенного раствора в колонке (путем добавления чистого песка), добиваясь примерно равных скоростей миграции растворов в почве и в лизиметре.

динамической ионообменной сорбции в специальных стеклянных колонках диаметром 1,85 см и высотой 16,5 см с катионитом КУ-2 в  $H^+$  форме. Величина рН фильтратов гидрозолей ГК изменялась с 5,3 до 2,65. Сорбция компонентов ГК катионитом достигала 49%. Слой ГК составлял от 1,5 до 3,0 мм. Кварцевый песок очищали по авторской методике [26], используя попеременно водные растворы  $H_2SO_4$ , NaOH, а также комплексообразователи: цитрат-, оксалат- и пирофосфат Na. Общее время очистки — 5-6 (9 сут). Морфологию почв исследовали путем закладки опорных разрезов, траншей и катен [5, 8, 16, 23].

### Результаты

#### Морфология почв стационаров.

Интерпретация морфологических признаков горизонтов почвы в конечном итоге предопределяет генетический анализ почвенного профиля, подкрепляемый лабораторным химическим анализом. Известно, что Б. Б. Полынов (1929, 1930) дифференцировал морфологические признаки на 3 группы: 1-я объединяет те из них, которые свойственны отдельным горизонтам, 2-я включает признаки, рассеянные по всему профилю и 3-я характеризует свойства, присущие какой-то части профиля, пределы которой не совпадают с границами горизонтов. Таким образом, морфологические признаки могут быть горизонтными и внегоризонтными. Это связано с тем, что в любом почвенном объеме реализуется несколько независимых и взаимосвязанных почвенных процессов. Каждый из них со временем может вызвать формирование тех или иных горизонтов, границы которых не совпадают. В соответствии с указанной идеей Б. Б. Полынов (1930) предложил метод, основанный на модельном расчленении всего профиля

на слагающие его субпрофили [14]. В наиболее завершеном виде эта идея нашла подтверждение в оригинальных работах В. Д. Тонконогова (1988, 1999).

Рассмотрим наши фактические данные.

**Стационар «Холмогорский»** расположен на левом (коренном) берегу р. Сев. Двины, в 65 км южнее г. Архангельска, на плакоре моренного увала, вблизи развилки шоссейных дорог на Холмогоры и Емецк. Изучаемая территория характеризуется как северотаежный и плосковолнистый моренно-эрозионный болотно-лесной ландшафт. Степень горизонтального расчленения рельефа слабая и средняя, усиливаясь к долине р. Сев. Двины за счет развития балок и логов. Межувалистые депрессии заняты верховыми болотами и лесными озерами, вода которых окрашена компонентами ВОВ в ярко-бурый цвет [7].

Почвенный покров водоразделов и склонов моренных гряд полигенетичен и представлен мелкоконтурными сочетаниями и комплексами глее-подзолистых и болотно-подзолистых почв, а также подзолов иллювиально-железистых (гумусовых), развитых на флювиогляциальных, моренных и двучленных породах. Территория слабо дренирована и сильно заболочена.

**Разрез 71** заложен в ельнике-черничнике долгомошном. Древостой разновозрастный, сильно изрежен из-за вырубков и пожаров. Возраст 80-120 лет. Подрост из ели. Подлесок из можжевельника, редко рябина. Напочвенный покров: черника (*Vaccinium myrtillus*), по приствольным повышениям брусника (*V. vitis-idaea*), мхи зеленые и *Sphagnum*, образующие упругую и влагоемкую «подушку» оторфованной лесной подстилки. Обилие микрозападин, в которых находится бурого цвета верховодка.

- $A_0^{тн}$  0–9 см — четко дифференцирован на три подгоризонта:  $A_0^т$ ,  $A_0^{тн}$  и  $A_0^п$ ,  
(или  $O^{тн}$ )  
причем в слоях 7-9 и 11-14 см много мелких угольков,
- $A_0^т$  0–3 см — очес из живых мхов, мокрый, буровато-желтый,
- $A_0^{тн}$  3–7 см — торфяно-перегнойный, бурый, мокрый, упругий, сильно пронизан корнями кустарничков, слабо мажущийся,
- $A_0^п$  7–9 см — перегнойный, темно-бурый (5 YR 3/3), сильно мажущийся, переход в гор.  $A_{2g}$  резкий.
- $A_{2g}$  2–25 (28) см — белесо-сизый (5 YR 6/1), **верхняя часть (9-13 см) пропитана «потечным гумусом»**, сырой, плитчато-листоватый легкий суглинок, слабо уплотнен, обилие шаровидных мелких (1—2 см) Fe-Mn рыхлых конкреций, покрытых тонкодисперсным материалом, 40% площади горизонта занимают сизые пятна, много мелких корней, переход языковатый.
- $A_{2Bg}$  25 (28)–44 см — палево-белесовато-сизый (7,5 YR 5/4), сырой, плитчато-призматический, средний суглинок, много конкреций, единичные корни, среднеуплотненный, горизонт начала магистральных трещин, локально проникающих до гор.  $BC_g$  и заполненные материалом, мигрировавшим из гор.  $A_{2g}$ , педы плитчатые, изоморфные, на их верхней и нижней поверхностях белесые тонкие слои скелетан, которые прерывисты. Поры тонкие, трубковидные. Конкреции Fe-Mn на изломе черно-бурые, слоистые, мягкие. Переход ясный, волнистый.
- $B_{1g}$  44–85 см — мокрый, бурый (7,5 YR 4/4) с отдельными белесыми пятнами, ореховато-призматический, очень плотный тяжелый суглинок, по граням педов при подсыхании охристо-бурые «размытые» пятна и примазки, липкий. Поры заполнены тонкодисперсным материалом — скелетанами. Педы II порядка плитчатые, сжатые, на изломе по цвету не отличаются от поверхности. Скелетаны палевые, а на нижней поверхности педов с охристо-бурыми пятнами. Переход ясный по цвету и каменности.
- $BC_g$  85–127 см — мокрый, красновато-бурый с палевым и сизоватым оттенками (7,5 YR 5/3-3/4), крупнопризматический, очень плотный, липкий и вязкий тяжелый суглинок. При подсыхании обилие охристо-бурых пятен и примазок по граням педов. Редко валунчики и камни. Поверхность вторичных ореховатых педов покрыта хорошо выраженными скелетанами (10 YR 7/3), особенно на боковых (притрещинных) участках. Кутаны нижних поверхностей вторичных педов — тонкие и ярко бурые (5 YR 5/3). Первичные педы — остросереберные с хорошо развитыми плоскими гранями — крупные призмы. Окраска горизонта с 98 см мозаичная: увеличивается доля охристо-сизых тонов, очевидно, за счет сегрегации конкреций Fe и Mn. Переход постепенный по цвету и плотности.
- $C_g$  127–158 см — мокрый, палево-бурый (7,5 YR 5/6), но мозаичный по цвету (обилие охристых и сизых небольших пятен), крупноплитчатый, очень вязкий и плотный тяжелый суглинок. Педы II порядка — призмы и плитки, которые обнаруживаются при подсыхании. На поверхности педов — глинистые кутаны (5 YR 5/6), глянцевые и тонкие. На нижней поверхности педов — красновато-бурые кутаны (5YR 4/4-3/4). Поры тонкие и их в педлах мало. Конкреций также очень мало. Это водоупор. Много камней и валунчиков. От 10% раствора HCl почва не вскипает по всему профилю.

**Почва** — глее-подзолистая легко-суглинистая на тяжелосуглинистой бескарбонатной морене. Профиль полноразвитый на однородной почвообразующей породе.

**Стационар «Малые Корель»** находится на правом берегу р. Сев. Двины, на 1-й эрозионной надпойменной террасе, в 25 км южнее г. Архангельска. Исследуемый лесопарковый ландшафт находится на территории Архангельского Музея деревянного зодчества, занимающего площадь 130 га. С музеем граничит Уемский природный заказник.

Во время маршрутных и стационарных полевых изысканий в нижнем течении р. Сев. Двины было выделено и изучено 5 типов строения почвенных профилей: **примитивный, неполноразвитый, нормальный, слабодифференцированный и нарушенный. Примитивный профиль** имеет маломощный грубогумусный горизонт (3~5 см), который залегает на почвообразующей породе или когда на склонах увалов после сведения леса (или пожара) у двучленов оказывается эродированным песчаный нанос, а в сферу современного почвообразования вовлекается суглинистый субстрат: горизонты  $B_g$  (BC) $_g$  —  $C_g$ . Часто гор.  $B^h_g$  прокрашивается потечным гумусом и диагностируется ошибочно как A). Почва диагностируется **как примитивная** без типового названия. **Неполноразвитый профиль** имеет набор всех генетических горизонтов, но они маломощные. **Пример:** профиль подзола в верхней части двучлена. **Нормальный:** незродированный (полноразвитый) профиль, как правило, приурочен к плакорам и однородным по сложению почвообразующим породам. **Слабодифференцированный** — профиль, в котором генетические горизонты выделяются в полевой обстановке с трудом или очень постепенно сменяют друг друга: они сильно растяну-

ты. Характеризует начальный этап развития почвы. **Нарушенный** имеет уничтоженную эрозией или антропогенной деятельностью верхнюю часть профиля. Так, в агроландшафте, если нет гор.  $A$  [ (или  $A_{\text{пах}}$ ) — слабосмытая (4), нет гор.  $A_{\text{пах}} + A_1$  — среднесмытая (W), нет гор.  $A_{\text{пах}} + A_2 + A_2B$  — сильносмытая (141). В последнем случае поверхность почвы на склонах увалов и холмов бурая и каменистая, урожайность трав и с.-х. культур здесь крайне низкая. Такие участки следует вывести из с.-х. угодий и залужить (закустарить). В этом и заключается одна из задач экологического почвоведения и ландшафтной организации территории. Прежде чем вредить системе земледелия, следует провести почвенно-экологическую экспертизу ландшафтов. Земледельцы должны знать, что они работают не в поле, а в агроландшафте — сложном природном комплексе.

На территории музея «Малые Корель» среди сложных почвенных профилей были диагностированы следующие типы: 1) **реликтовый**, в котором присутствуют или погребенные горизонты, или профили палеопочв, являющиеся следами древнего почвообразования, идущего в настоящее время с иными скоростью и направленностью; 2) **двучленный** сформировался на водоразделах и надпойменных террасах р. Сев. Двины при смене различных по генезису и гранулометрическому составу пород в пределах 1-1,5 м; 3) **полициклический** образовался в условиях динамичного рельефо- и почвообразования: склоны и днища залесенных балок речной террасы; 4) **нарушенный** (перевернутый) часто диагностируется в результате перемещения на поверхность нижележащих горизонтов (вывалы деревьев, т.н. ветровая педотурбация); 5) **мозаичный** профиль для изучаемого объек-

та весьма типичный: генетические горизонты располагаются не в виде непрерывных горизонтальных слоев, а в виде их мозаики, фрагменты горизонтов сменяют друг друга прерывистыми пятнами и «клиньями» на небольшом протяжении.

Разрез 7а. Заложен на выровненной поверхности 1-й надпойменной террасы р. Сев. Двины, вблизи церк-

ви Вознесения 1669 г. (на восток от нее в 200 м) в хвойном лесу (V бонитета 5СЗЕ2Б) с еловым подростом. Подлесок из можжевельника, редко из рябины. Напочвенный покров из черники и брусники (по приствольным повышениям). Много микрозападин и небольших ложбинок стока. Во время влажного сезона здесь скапливается вода.

- $A_{2h}^{Tn}$  0–5 см — темно-бурая, сырая, оторфованная, слаборазложившаяся лесная подстилка, интенсивно пронизана корнями, внизу тонкая прослойка из белесых кварцевых зерен, есть мелкие угольки, переход постепенный по цвету.
- (или  $O^{Tn}$ )
- $A_{2h(g)}$  5–10 см — темно-серый с буроватым оттенком, сырой, супесчаный, интенсивно пропитан почечным гумусом, непрочно пластинчатый, педы разламываются легко, на изломе цвет сизовато-серый с черными затеками. По стенкам пор и ходам гнивших корней бурые кутаны. Много мелких и мягких ржаво-черных Fe-Mn конкреций, переход языковатый по цвету.
- (или  $Eh(g)$ )
- $A_{2g}$  10–14 см — сизовато-белесый, сырой, непрочно плитчатый, супесчаный, в пространстве залегает в виде пятен и линз, много мелких (до 5 мм) Fe-Mn рыхлых шаровидных конкреций, **завуалированных тонкодисперсным материалом**. Раздавливаются они с заметным усилием, в центре — слоистые, черно-бурого цвета. Много мелких угольков. Корни растений только крупные. Переход ясный по цвету.
- (16) см (или  $Eg$ )
- $B_{fg}$  14 (16) – 26 см — мокрый, буро-палевый с сизоватым оттенком, супесчаный, непрочнокомковатый, обилие диффузионно сегрегированных конкреций размером 1,5–3 мм Fe-Mn, покрытых тонким чехлом илестых частиц, на изломе они слоистые черно-бурые, переход постепенный по цвету.
- $B_2C_1$  26–28 см — мокрый, светлее предыдущего, супесчаный, конкреций много, но они локальны, корни единичны, среднеуплотненный, непрочнокомковатый, переход ясный по цвету.
- $A'_{2g}$  (точнее  $A'_{2g}C_1$ ) 28–33 см, иногда обозначают как  $A_2$  конт. — сизовато-белесый, мокрый, непрочнолистово-плитчатый, супесчаный (с включениями крупнозернистого песка), педы непрочные, на изломе сизовато-бурые, вязкий и липкий, переход ясный по цвету и плотности. По контактному горизонту наблюдается латеральный сток веществ.
- $C_{1(g)}$  33–89 см — сырой, красновато-бурый, плитчато-ореховато-призматический тяжелый суглинок с сизоватыми пятнами (локально), поры тонкие, заполненные илестыми частицами, по граням крупных педов буро-охристые (при подсыхании) кутаны, редко камни, очень плотный и вязкий, с трудом поддается проходке лопатой — водоупорный горизонт. От 10% раствора HCl не вскипает.

Почва: глее-подзолистая контактно-глееватая супесчаная на двухчленных бескарбонатных отложениях. Это неполноразвитый (эродированный) мозаичный профиль; гене-

зис таких почв остается недостаточно изучен.

По новой классификации (2004) почва называется: текстурно-глее-подзолистая иллювиально-железистая

супесчаная на двучленных отложениях [26].

Кроме традиционного существуют и иные подходы при морфологической оценке вышеуказанных почв. Они дополняют имеющуюся информацию. При этом, во-первых, можно выделить самостоятельный песчаный профиль неполноразвитого подзола (у него фактически нет песчаной почвообразующей породы) с горизонтами:  $A_0^{\uparrow} - A_2 - B_f - \dots$ , во-вторых, можно совместно вычленивать как субпрофиль подзола, так и его текстурно-дифференцированную часть. Система горизонтов будет такая:  $A_0^{\uparrow} - A_{2h} - B_f \dots A'_{2g} - B_2 - B_3 \dots$ . В-третьих, в изучаемых профилях (до 1,5 м) можно выделить как элювиальную часть ( $A_0^{\uparrow} - A_2 \dots A'_{2g} \dots$ ), в которой наблюдается трансформация и миграция железосодержащих соединений, так и иллювиальную ( $B_2 - B_3 - BC \dots$ ), слабо затронутую почвообразованием. На склонах речных и озерных террас, а также моренных холмов и увалов р. Сев. Двины водная миграция веществ (латеральный поток) весьма активно происходит по контактно-осветленному горизонту, который обозначается в специальной литературе весьма неоднозначно:  $A_2; A'_{2g}; B_g; G_k; B_2A_2; A_2C_2; A_2 B_{2g}; A_{21g}; D_{1эл}; B_{2g}; A_{2 конт}$ . Очевидно, эти индексы отражают многообразие взглядов разных авторов на природу указанного горизонта и свидетельствуют как о незавершенности изысканий, так и о сложности изучаемого объекта. Обобщение имеющегося материала позволило констатировать следующее. Оба слоя, и кроющей (песчано-супесчаный тонкозер-

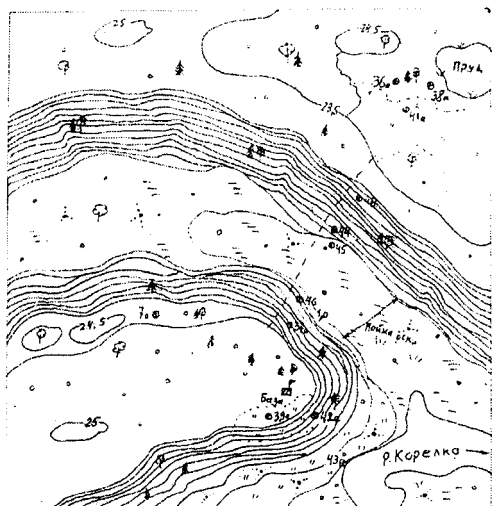
нистый нанос), и подстилающий (суглинисто-глинистый), находятся в сфере современной почвенно-геохимической миграции веществ. Субстрат верхнего чехла участвует преимущественно в биогеохимическом круговороте веществ, а нижний — в физико-химической трансформации минералов и коллоидов, главным образом, в гор.  $A'_{2g}C_1$ . Вещества данного горизонта являются основным источником коллоидов Si, Fe, Mn и Al, вовлекаемых в верхний нанос при промораживании почвы и ее периодическом переувлажнении. Природа гор.  $A'_{2g}C_1$  не столько биохимическая (из-за длительного промерзания), сколько физико-химическая, связанная с компонентами ВОВ, которым присущи функции активных восстановителей, кислот, поверхностно-активных веществ и лигандов — комплексообразователей [22, 23].

Изучение почвенного покрова стационара «Малые Корелы» с помощью метода закладки катен (рис. 1) показало, что залесенные крутые склоны балки (являющейся местным базисом эрозии на 1-й надпойменной террасе р. Сев. Двины) лишены песчаного чехла, а почвы развиваются на суглинистом субстрате (разрез 37а).

Разрез 37а заложен в западинке на крутом ( $\sim 20^\circ$ ) северо-восточном склоне балки, в ельнике разнотравном. Подрост из ели. Разнотравье из аконита, фиалки болотной, кислицы и зеленых мхов. На стволах и ветвях деревьев обилие эпифитных лишайников. Отмечена солифлюкционная подвижка почв и грунта, вызвавшая мелкобугристую с западинками поверхность склона.

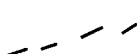

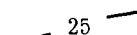




- $A_0^{\uparrow}$  0–1 см — слаборазвитая, бурая, сырая оторфованная лесная подстилка из хвои ели, веточек, листьев березы и аконита, сильно пронизана корнями, легко отслаивается от нижележащего подгоризонта  $A_0^{тп}$ .
- $A_0^{тп}$  1–4 см — сырая, темно-бурая, мажущаяся, торфяно-перегнойная лесная подстилка, очень много корней и угольков, при переходе в  $A_{2gh}$  заметны прерывистые тонкие прослойки из кварцевых зерен, переход постепенный.





**Рис. 1.** Топографическая карта-схема восточного участка музея «Малые Корелы». М 1:5000. Заложение 2,0 м.

**Условные обозначения:**

-  Проход по деревянным мосткам через балку,
-  7a Почвенные разрезы,
-  25 Абсолютные отметки местности, м,
-  Кустарник,
-  Фации с преобладанием ели,
-  Фации с преобладанием сосны, березы и осины,
-  Естественный сенокос.

- $A_{2gh}$  4-13 (18) см (или ELgh) — темно-серый (почти черный), влажный, непрочный зернисто-комковатый легкий суглинок опесчаненный, рыхлый, много мелких и средних корней, **педы в виде комков**, на изломе серо-палевые с черными расплывчатыми пятнами, локально серо-белесые опесчаненные линзы 2-3 см и мелкие капролиты, много Fe-Mn конкреций, покрытых серыми тонко-дисперсными частицами (1,5-2 мм), переход ясный по цвету. К концу октября мощность ELgh уменьшилась до 7-9 см.
- $B_{gt}$  13 (18) — 28 см — сырой, палевый с сероватым оттенком, слабо уплотненный плитчато-мелко-ореховатый, легкосуглинистый, вторичные педы в виде четко выраженных, но достаточно прочных ореховатых фрагментов, по их граням серовато-бурые примазки, во всем горизонте Fe-Mn мелкие конкреции, завуалированные тонкодисперсной плазмой, тонкопористый, поры трубкообразные, заметны капролиты и **редко черви**, корней очень мало, переход ясный по цвету.
- $B_2(A'_{2g})$  28-41 см — сырой, светло-палевый, при подсыхании появляется слабый белесо-серый оттенок, плитчато-лиственный, слабо уплотненный легкий суглинок, тонкопористый, по граням вторичных плитчатых педов (снизу) серо-белесые скелетаны, много Fe-Mn расплывчатых примазок, единичные корни, переход ясный по плотности и цвету.
- $B_{3g}$  (41-68 см) — сырой, красновато-палево-бурый, плитчато-ореховатый, очень плотный, липкий, вязкий тяжелый суглинок, ореховатость выражена очень четко, в виде мелких педов, по их граням охристые (при подсыхании) примазки, Fe-Mn мелкие конкреции, покрытые илистой плазмой.
- $BC_g$  68-86 см — сырой, серо-палево-белесый, слоистый, слои из песчано-супесчаных и суглинистых прослоек мощностью 0,5-3,5 см, есть 2-3 см слои почти черного цвета, очевидно, из угольков — следы былых пожаров; сейчас это сорбционные прослойки, поглощающие миграционные формы ВОВ и органоминеральные соединения; переход ясный по цвету и слоению.

VIII<sub>г</sub> пор. (C<sub>г</sub>) — мокрый (медленно сочится вода), слонстый: бурые прослон мощностью 10-15 см чередуются с черно-сизоватыми углистыми линзами, мощностью 2-4 см супесчано-суглинистый, обилие Fe-Mn конкреций и примазок по граням педов, корней нет, от 10% раствора HCl не вскипает.

**Почва.** Погребенная глее-подзолистая легкосуглинистая на делювиальных отложениях. При картировании их относили к почвам овражно-балочного комплекса. Это смытые и погребенные аналоги. **По новой классификации** почва называется: **абразем суглинисто-иллювиальный глееватый на делювии.**

Примечательно, что вышедшая на поверхность суглинистая толща озерно-ледниковых пород развивается в направлении формирования глее-подзолистой текстурно-дифференцированной почвы. Черный цвет гор. A<sub>2gh</sub> обусловлен не только «потечным гумусом» точнее полифенольными компонентами ВОВ, связанными с железом, но и иными причинами: после периодических пожаров на поверхности почв остаются зола и мелкие частицы угольков (емких сорбентов ВОВ). Содержащиеся в золе оксиды Ca, Mg, Na и K при контакте с водой подщелачивают реакцию среды до pH 9,5—11,2 и могут заметно усилить подвижность новообразованных ВОВ. Наконец, «кислотные дожди» (анионы SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) заметно влияют на кислотность почв. Здесь возможна трансформация сульфат-ионов при сезонном переувлажнении в сульфиды, которые с ионами Fe<sup>2+</sup> и Mn<sup>2+</sup> образуют черные растворы по аналогии с окраской приморских маршевых почв Беломорья (в частности, близ д. Патракеевки и Лапоминки, расположенных на взморье). Но главное здесь в том, что в отличие от песчано-супесчаных субстратов суглинистые породы являются более емкими поглотителями ВОВ и более прочно удерживают их миграционные компоненты: низкомолекулярные органические и уроновые кислоты, по-

лифенолы и фульвокислоты, формирование которых наблюдается в результате сорбционно-каталитических взаимодействий ВОВ с минералами почв подзолистого типа (Яшин, Кауричев, 1989).

Таким образом, в лесопарковых ландшафтах Музея деревянного зодчества «Малые Корелы» распространены различные типы почв, объединенные в новой классификации (Л. Л. Шишов, Г. В. Добровольский, 2004) в три надтиповые категории — **три ствола:** постлитогенный, органо-генный и синлитогенный. **Первый** объединяет почвы, в которых почвообразование реализуется на сформировавшейся почвообразующей породе. **В органогенный ствол** входят низкозольные верховые торфяники на водоразделах. **В синлитогенный** включены почвы, в которых современные почвенные процессы протекают сопряженно с литогенными (в частности, помными). В отделе стратоземов, например, нами изучен **стратозем** темный на погребенной аллювиальной слоисто-оглеенной почве, приуроченной к нижней трети склона балки (разрез 45). Совместно с аллювиальными перегнойно- и торфяно-глеевыми почвами (разрез 43) они занимают днище корытообразной балки, и в период половодья заливаются водой.

На естественных сенокосах данного объекта исследованы **агроабраземы** альфегумусовые иллювиально-железистые (разрез 41а) и агроабразем суглинисто-слабодифференцированный на делювии (разрезы 39а и 42а).

Химические свойства глее-подзолистых почв низовья р. Сев. Двины и стационара «Мезенский» (для сравнения) приведены в табл. 1. Эти поч-

**Химические свойства северо-таежных глее-подзолистых почв низовья  
рр. Сев. Двины и Мезени, а также аллювиальной дерновой почвы  
дельты р. Сев. Двины (ОАО «Приморский») Архангельской обл.**

Горизонт и глубина взятия образ- цов, см	Гумус (по Тюрину), %	рН, КСл	Обменная кислот- ность (Н <sup>+</sup> )	Поглощенные основания		Н <sub>г</sub>	V, %	Доступные формы, мг/100 г	
				Са <sup>2+</sup>	Мg <sup>2+</sup>			фос- фора	калия
			мг/экв на 100 г						

**Стационар «Мезенский»\***. Выровненный плакор увала.

**Разрез 365.** Ельник-черничник-долгомошник V класса бонитета. Глее-сильно-подзолистая супесчаная на моренных бескарбонатных отложениях

O <sub>1</sub> , 0-7	Не опр.	3,8	0,80	7,0	4,0	23,0	32,7	7,0	49,0
EL <sub>g</sub> , 14-24	2,3	4,3	0,04	1,4	0,8	5,2	29,4	2,4	5,9
EL/V <sub>g</sub> , 36-46	0,4	4,1	0,03	0,4	0,2	3,3	15,2	6,0	3,0
V <sub>gt</sub> , 62-72	0,2	4,4	0,03	0,4	0,4	2,4	24,5	8,9	2,8
BC <sub>g</sub> , 80-90	0,2	4,3	0,03	2,0	1,2	2,1	60,3	13,8	5,3
C <sub>g</sub> , 150-160	0,1	4,5	0,03	2,9	1,5	2,9	65,9	16,9	6,2

**Стационар «Холмогорский».**

**Разрез 71.** Ельник-долгомошник V класса бонитета. Водораздел моренного увала. Глее-подзолистая легкосуглинистая на бескарбонатной морене

A <sub>0</sub> <sup>тп</sup> , 0-9	Не опр.	3,8	1,2	35,7	0,7	28,9	55,7	15,4	81,3
A <sub>2g</sub> , 11-21	0,8	3,1	0,06	1,7	1,0	7,1	27,6	1,9	9,6
A <sub>2Vg</sub> , 30-40	0,3	3,8	0,03	2,4	0,5	4,3	39,7	0,8	6,9
V <sub>g</sub> , 62-72	0,4	4,5	0,04	4,1	1,3	3,5	60,7	1,3	7,5
BC <sub>g</sub> , 90-100	0,2	5,3	0,03	5,6	1,7	2,3	76,0	2,3	9,1
C <sub>g</sub> , 135-145	0,1	5,5	0,03	8,4	2,6	2,6	87,3	3,5	8,8

**Стационар «Малые Корелы»**

**Разрез 7а.** 1-я надпойменная терраса р. Сев. Двины. Ельник-черничник-долгомошник V класса бонитета. Глее-подзолистая контактно-глееватая супесчаная на двухчленных отложениях

A <sub>0</sub> <sup>тп</sup> , 0-5	Не опр.	3,8	1,6	21,8	2,5	34,1	41,6	1,4	13,5
A <sub>2gh</sub> , 5-10	4,3	3,9	0,08	2,7	1,4	10,7	27,7	2,1	3,0
A <sub>2g</sub> , 10-15	1,6	4,2	0,06	0,9	0,5	8,1	14,7	1,3	3,3
V <sub>fg</sub> , 15-25	2,9	4,3	0,09	1,7	0,9	18,3	12,4	7,1	10,5
A <sub>2 конт.</sub> , 28-33	0,7	5,1	0,04	0,4	0,1	5,1	8,9	16,6	2,9
C <sub>1g</sub> , 55-65	0,3	5,4	0,02	1,7	0,8	3,0	45,5	25,7	18,4

**Стационар «Приморский».** Дельта р. Сев. Двины (аллювиальная зона).

**Разрез 15.** Пашня. Аллювиальная дерновая легкосуглинистая на аллювиальных отложениях

A <sub>p</sub> , 0-37	2,9	6,9	0,05	8,0	3,75	0,50	95,9	29,0	48,0
A <sub>1</sub> , 37-46	2,8	7,1	0,05	4,8	4,00	0,50	94,6	26,8	11,1
III, 46-56	1,1	7,2	0,04	6,3	2,00	0,33	96,2	15,4	6,8
IV, 72-82	0,6	7,6	0,03	6,2	0,50	0,17	97,5	13,7	6,0
V, 89-99	0,7	7,2	0,03	9,3	2,75	0,66	94,8	14,6	10,8
VI, 115-125	1,0	7,1	0,02	16,0	5,00	0,83	96,2	13,0	13,9

\* Содержание железа (по Тамму) по горизонтам в разрезе 365: EL<sub>g</sub> — 32,2; EL/V<sub>g</sub> — 148,4; V<sub>g</sub> — 110,4; BC<sub>g</sub> — 156,2 и C<sub>g</sub> — 180,1 мг/100 г почвы. В принципе, это тот мобильный резерв соединений Fe, которые могут включаться в миграционные потоки, в частности, с активным участием ВОВ.

вы отличаются высокой кислотностью ( $pH_{Kc} < 5,1$ ) и не насыщены щелочноземельными основаниями (степень насыщенности варьирует от 9 до 87%). Гумус изучаемых почв имеет, главным образом, фульватный и реже гуматно-фульватный состав [10]. Степень обеспеченности доступными формами фосфора и калия для с.-х. культур — низкая и очень низкая. Таким образом, с агрономической точки зрения глее-подзолистые почвы характеризуются неблагоприятными химическими свойствами, испытывают длительное сезонное переувлажнение с периодической миграцией веществ. Но даже если достичь высокого уровня обеспеченности усвояемыми формами элементов питания, степень их доступности для культурных растений останется низкой не только из-за дефицита тепла, но и вследствие слабой биологической активности микрофлоры и высокого содержания коллоидов Fe, Mn, Si и Al-активных поглотителей разных химических элементов. Эту проблему следует решать не только с помощью средств агрономелиорации и химизации, но и на экологическом уровне. В сравнении с глее-подзолистыми почвами аллювиальные дерновые аналоги имеют наиболее благоприятные агрономические свойства и составляют основной (базовый) фонд сельскохозяйственных угодий регионов, находящихся в низовьях северных рек Сев. Двины, Мезени, Кулоя, Печоры.

Рассмотрим результаты опытов по изучению миграции ВОВ и органо-минеральных соединений Fe и Si в глее-подзолистых почвах. В годовом цикле абиогенная внутрипрофильная миграция ВОВ достигает  $53,9 \text{ г/м}^2$  из гор. АJ", на выходе из почвенного профиля (из гор. ВСg — 100 см) —  $17,4 \text{ г/м}^2$ , то есть основная масса ВОВ задерживается иллювиальным и иными горизонтами. Примечательно, что в составе ВОВ резко доминиру-



ют низкомолекулярные неспецифические органические вещества. На их долю приходится 81,9-88,9%  $C_{\text{общ. ВОВ}}$ . В вегетационный дождливый период (с 3.06 по 27.09) также отмечался очень высокий масштаб миграции ВОВ: из гор. А<sub>0</sub><sup>TM</sup> —  $43 \text{ г/м}^2$ , причем сорбция оглеенными горизонтами почвы мобильных форм гумусовых соединений оказалась незначительной. Так, вещества гор. А<sub>2g</sub> поглощают, примерно, 35% ВОВ-мигрантов, а в гор. А<sub>2Vg</sub> наблюдается, напротив, не сорбция, а увеличение масштаба миграции, что косвенно указывает на сезонную деградацию веществ этого сорбционного барьера. Причем в составе ВОВ, мигрируемых в период вегетации, на долю неспецифических органических веществ приходится от 8,7 (гор. А<sub>2Vg</sub>) до 33,8% (гор. А<sub>0</sub><sup>TM</sup>), а в составе ВОВ преобладают специфические компоненты — фульвосоединения. В красноцветных остаточно-карбонатных глее-подзолистых почвах также отмечена активная миграция ВОВ по профилю: из гор. А<sub>0</sub><sup>TM</sup> выносятся  $38,9 \text{ г/м}^2$   $C_{\text{орг ВОВ}}$ , а из пахотного слоя (гор. А<sub>пах</sub> — 38 см) —  $59 \text{ г/м}^2$  (рис. 2). Следовательно, карбонатный барьер в условиях длительного переувлажнения и охлаждения почв неполностью сорбирует компоненты ВОВ, а в их составе в период вегетации заметно преобладают вещества фульвокислотного характера. Гуминоподобных соединений в почвенных растворах не обнаружено, очевидно, из-за специфики таежного гумусообразования [25], который имеет иные направленность и скорость в сравнении, например, с черноземами. Нами установлено, что процесс гумусообразования в нативных подзолистых почвах опосредуется через ярко выраженные и взаимосвязанные стадии (и циклы) мобилизации ВОВ, их последующей трансформации и водной миграции. Компоненты ВОВ име-

ют ярко выраженные свойства кислот, не насыщены ионами металлов, легко утилизируются микроорганизмами (поэтому фиксируемый в опытах вынос ВОВ составляет 1/4-1/5 часть реального масштаба) и очень слабо сорбируются гидратированными минералами почв. ВОВ отражают один из экологических механизмов адаптации таежной биоты к суровым условиям среды обитания. Нами он назван **биогенным кислотообразованием** [7].



Результаты серийных лабораторных модельных экспериментов, в которых изучали мобилизацию ВОВ из растительного опада в раствор [26], свидетельствуют о своеобразии этого процесса, протекающего при участии микроорганизмов (на что указывают заметно варьирующие во времени значения рН). Процесс мобилизации ВОВ характеризуется высокими интенсивностью и стадийно-

**Рис. 2.** Масштаб, формы миграции ВОВ и некоторых органоминеральных соединений в глее-подзолистых почвах крайне северной тайги низовья р. Мезени. Разрез 365. Годовой цикл наблюдений.



**А** — внутрипрофильная абиогенная миграция компонентов ВОВ:

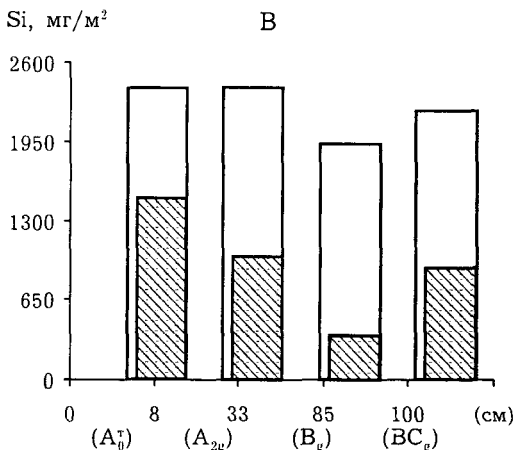
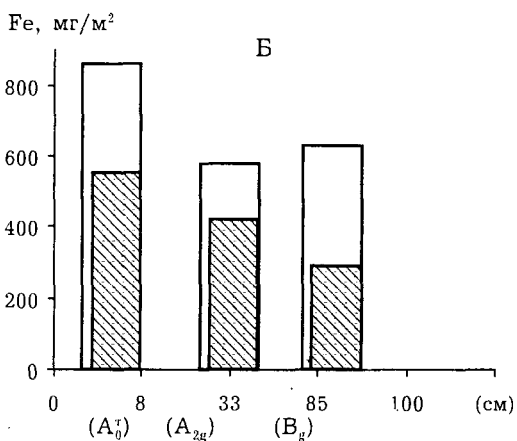
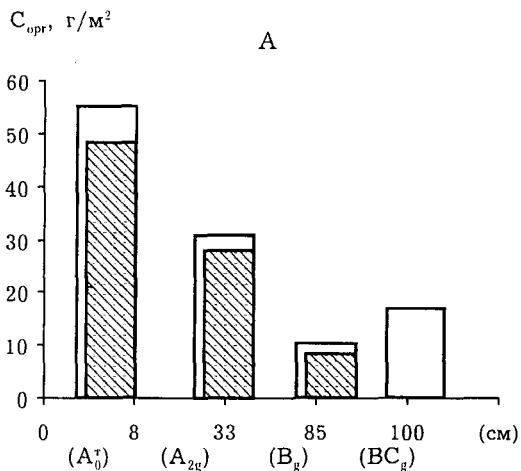
-  — общий вынос  $C_{орг1}$
-  — вынос неспецифических органических веществ в составе ВОВ: низкомолекулярные органические кислоты, полифенолы и уоновые кислоты.

**Б** — внутрипрофильная миграция железа:

-  — общий вынос Fe,
-  — вынос Fe в составе ВОВ.

**В** — внутрипрофильная миграция кремния:

-  — общий вынос кремния,
-  — вынос Si в составе компонентов ВОВ



стью (изменяются рН и состав ВОВ), причем накапливающиеся промежуточные продукты трансформации растительных субстратов, в свою очередь, влияют на функционирующие микроорганизмы, в частности на их генетические ритмы.

Состав ВОВ, продуцируемых в растворимое состояние, неоднороден и зависит от типа опада, географического положения почв, сезона, когда отбирали растительные субстраты для исследования и т. д. Так, из образцов торфяно-перегнойной лесной подстилки, отобранных по окончании биологически активного периода (в сентябре) на Няндомском стационаре, в раствор мобилизова-

лись ВОВ, в составе которых заметно преобладали специфические компоненты, в том числе и фульвосоединения (ФС). Из лесной подстилки, отобранной в начале лета после длительного абиогенного периода, в раствор поступало одинаковое количество индивидуальных органических веществ и специфических соединений (табл. 2).

В водных экстрактах из лесной подстилки (горизонт А<sub>0</sub><sup>Г</sup>) Холмогорского стационара достоверно больше содержится неспецифических органических веществ, а из гор. А<sub>0</sub><sup>П</sup>, напротив, больше мобилизуется компонентов, переходящих с угля в аммиачный элюат — 53,1%. Из эпифитных лишайни-

Т а б л и ц а 2

**Компонентный состав ВОВ, мобилизованных в раствор из органогенных субстратов подзолистых почв в лабораторном опыте (отбор проб — 15 ноября; 100 г растительной массы заливали 1,0 л воды; экспозиция 166 сут)**

Объект исследования и срок отбора проб	рН <sub>вод</sub>		С <sub>орг</sub> ВОВ в растворах, мг/л	Сорбция ВОВ активированном углем, %	Состав ВОВ, % к С <sub>орг</sub> по сорбции углем		Десорбция ВОВ с активированного угля, %
	начало опыта	конец опыта			водоацетонный элюат	аммиачный элюат (фульвосоединения)	

**Подзона северной тайги (Холмогорский стационар)**

**Лесная подстилка:**

гор. А <sub>0</sub> <sup>Г</sup> (0–5 см)	4,55	5,82	148,2	96,1	49,7	37,1	86,8
гор. А <sub>0</sub> <sup>П</sup> (6–11 см)	4,60	5,70	202,4	96,6	30,3	53,1	83,4
Эпифитные лишайники и мелкие веточки ели	4,20	4,39	230,3	90,1	89,3	10,3	99,6
Живые растения брусники	5,40	6,25	701,1	96,3	40,1	5,6	45,7

**Подзона средней тайги (Няндомский стационар)**

**Лесная подстилка, гор. А<sub>0</sub><sup>П</sup> (3–9 см)**

14 ноября	4,20	4,33	205,2	95,6	20,7	30,7	51,4
18 июня	4,07	2,31	126,4	98,2	49,1	49,6	98,7
14 сентября*	4,32	3,10	93,6	94,5	20,1	78,3	98,4

\* Органогенные субстраты массой 150 г заливали 1 л дистиллированной воды в 3-литровых стеклянных банках с притертыми пробками и настаивали в темноте при температуре 20°C в течение 320 сут. Полученные растворы ВОВ были профильтрованы через воронку с беззольным бумажным фильтром и фракционированы затем на активном угле (масса 40–50 г) по схеме Forsyth — Яшина [26].

ков в раствор мобилизуются преимущественно неспецифические соединения 89,3% от Собщ в растворе.

Среди миграционных форм Fe и Si в глее-подзолистых почвах преобладают комплексные органоминеральные соединения. Так, внутрипрофильная миграция Fe-органических комплексов достигает 340-580 мг/м<sup>2</sup> · год<sup>-1</sup>, а масштаб миграции кремния значительно больше — 1950-2450 мг/м<sup>2</sup>. Образование растворимых и устойчивых органических комплексов резко увеличивает миграцию Fe, поскольку в оглеенных горизонтах развита главным образом диффузионная сегрегация форм Fe и Mn. Среди миграционных форм Fe и Si на долю растворимых форм с ВОВ соответственно приходится 49,2-71,7% и 39,8-61,2% их мобильной массы (см. рис. 2).

Исследование сезонной динамики процессов миграции компонентов ВОВ показало, что в почвах нижнего течения р. Сев. Двины отмечается активная мобилизация ВОВ и их внутрипрофильная по сезонам года миграция (табл. 3-5). Причем совместное использование в сорбционных лизиметрах таких сорбентов, как оксид алюминия и синтетических органических ионитов, позволило выявить, по-видимому, реальный масштаб миграции ВОВ, который для гор. А<sub>д</sub> аллювиальной дерновой почвы составил ~117, а для гор. А<sub>0</sub><sup>тм</sup> глее-подзолистой — 97,5 г/м<sup>2</sup> · год<sup>-1</sup>. Мигрируемые компоненты ВОВ неполно сорбируются генетическими горизонтами и являются основной движущей силой в абиогенной миграции и продуктов почвообразования, и экотоксикантов [26].

**Т а б л и ц а 3**

**Масштаб абиогенной миграции ВОВ и их состав в лесных почвах низовья р. Сев. Двины Архангельской обл. за период вегетации — 26 июня до 14 сентября (81 сут)**

Генетический горизонт и глубина установки колонок, см	Объем воды в лизиметрах, л	С <sub>орг</sub> ВОВ в водах лизиметров, мг/л С <sub>общ</sub>	Состав ВОВ, сорбированных активированным углем колонок, мг/л С <sub>общ</sub>			Масштаб миграции С <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup> (за период вегетации)	Общий вынос С <sub>орг</sub> ВОВ за год, г/м <sup>2</sup>
			в водо-ацетоновом элюате	в аммиачном элюате (фульвокислоты)	всего		
А <sub>0</sub> <sup>тм</sup> — 8	0,61	<u>30,7±2,2</u> 6,8	<u>254,4±10,9</u> 56,5	<u>165,4±9,7</u> 36,7	<u>450,4</u> 100	41,4	93,5
А <sub>2g</sub> — 28	1,00	<u>45,9±2,8</u> 13,9	<u>137,7±7,5</u> 41,7	<u>146,9±6,3</u> 44,4	<u>300,5</u> 100	24,7	50,3
А <sub>2</sub> В <sub>g</sub> — 46	0,49	<u>42,8±3,1</u> 12,6	<u>140,8±5,4</u> 41,8	<u>153,0±7,4</u> 45,5	<u>336,6</u> 100	21,6	37,4

**Стационар «Холмогорский», разрез 71**

Почва: глее-подзолистая легкоуглинистая на бескарбонатной морене

А <sub>0</sub> <sup>тм</sup> — 8	0,61	<u>30,7±2,2</u> 6,8	<u>254,4±10,9</u> 56,5	<u>165,4±9,7</u> 36,7	<u>450,4</u> 100	41,4	93,5
А <sub>2g</sub> — 28	1,00	<u>45,9±2,8</u> 13,9	<u>137,7±7,5</u> 41,7	<u>146,9±6,3</u> 44,4	<u>300,5</u> 100	24,7	50,3
А <sub>2</sub> В <sub>g</sub> — 46	0,49	<u>42,8±3,1</u> 12,6	<u>140,8±5,4</u> 41,8	<u>153,0±7,4</u> 45,5	<u>336,6</u> 100	21,6	37,4

**Стационар «Приморский»: дельта р. Сев. Двины (о. Пустошь).**

Разрез 11. Луг сеяный, окультуренный. Почва: аллювиальная дерновая слоистая глееватая супесчаная на современном аллювии

А <sub>д</sub> — 3	0,44	<u>8,6±1,6</u> 2,4	<u>152,6±3,7</u> 41,8	<u>203,5±5,7</u> 55,8	<u>364,8</u> 100	24,2	117,4
А <sub>1</sub> — 11	0,50	<u>24,8±3,7</u> 6,6	<u>96,5±2,5</u> 25,7	<u>254,0±7,3</u> 67,7	<u>375,3</u> 100	33,9	115,1

**Масштаб абиогенной миграции ВОВ, их состав в лесных почвах низовья р. Сев. Двины Архангельской обл. за осенне-весенний период: с 12 сентября по 29 мая (259 сут)**

Генетический горизонт, глубина и варианты установки колонок, см	Объем воды в приемниках лизиметров, л	C <sub>орг</sub> ВОВ в лизим. воде колонок, мг/л	Общий масштаб миграции C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup>	Вынос C <sub>орг</sub> ВОВ по сорбции на Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , г/м <sup>2</sup>	C <sub>орг</sub> ВОВ в элюатах из Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мг/л			Доля C <sub>орг</sub> ВОВ, выгесненных элюентами из Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % C <sub>общ</sub> в Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
					1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 н. NaOH	вынос, г/м <sup>2</sup>	
Холмогорский стационар. Разрез 71. Почва: глее-сильнопodzolistая легкосуглинистая на бескарбонатной морене. Сорбент в колонках — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> для хроматографии								
<b>1-й вариант (контроль)</b>								
A <sub>0</sub> <sup>τ</sup> — 5	1,1	30,5±2,6	22,2	13,5	100,5±7,3	91,4±5,9	2,2	16,3
<b>2-й вариант</b> — A <sub>0</sub> <sup>тп</sup> — 9 (без A <sub>0</sub> <sup>τ</sup> )	0,5	36,5±3,1	29,9	20,3	48,7±3,9	60,9±4,2	1,3	6,4
<b>3-й вариант</b> — A <sub>2g</sub> — 28	1,0	Не опр.	25,6	25,6	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.

**Холмогорский стационар. Разрез 71.** Почва: глее-сильнопodzolistая легкосуглинистая на бескарбонатной морене. Сорбент в колонках — Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> для хроматографии  
**1-й вариант (контроль)**

A<sub>0</sub><sup>τ</sup> — 5                      1,1    30,5±2,6    22,2    13,5    100,5±7,3    91,4±5,9    2,2    16,3

**2-й вариант** —            0,5    36,5±3,1    29,9    20,3    48,7±3,9    60,9±4,2    1,3    6,4  
A<sub>0</sub><sup>тп</sup> — 9 (без A<sub>0</sub><sup>τ</sup>)

**3-й вариант** —            1,0    Не опр.    25,6    25,6    Не опр.    Не опр.    Не опр.    Не опр.  
A<sub>2g</sub> — 28

\* C<sub>орг</sub> по методу Тюрина определяли в средних порциях Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3–5 г), добавляя немного прокаленной пемзы, чтобы исключить при кипячении выброс K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>. Определение C<sub>орг</sub> ВОВ непосредственно в Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> позволяет получить более корректные результаты.

**Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ (и их состав) в почвах аллювиальной зоны дельты р. Сев. Двины за период с 12 сентября по 29 мая (259 сут)**

Генетический горизонт и глубина установки колонок, см	Объем воды в приемниках лизиметров, л	C <sub>орг</sub> ВОВ в приемных сосудах лизиметров, мг · л <sup>-1</sup>	C <sub>орг</sub> ВОВ в элюатах с ионитов, г/м <sup>2</sup>		C <sub>орг</sub> ВОВ непосредственно в Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , г/м <sup>2</sup>	Общий масштаб миграции, C <sub>орг</sub> ВОВ, г/м <sup>2</sup>	Доля C <sub>орг</sub> ВОВ, сорбированных Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %
			КУ-2 в Н <sup>+</sup> форме	ЭДЭ-10п в ОН <sup>-</sup> форме			
<b>Стационар «Приморский»</b>							
<b>Разрез 11. Луг окультуренный (сеяный).</b> Почва: аллювиальная дерновая слоистая глееватая супесчаная на современном аллювии							
A <sub>д</sub> — 3	0,6	36,5	6,9±0,4	44,5±6,1	38,5±3,1	93,2*	41,3
A <sub>1</sub> — 11	0,4	20,4	5,4±0,3	40,7±4,4	33,9±2,9	81,2	41,7
П <sub>г</sub> — 39	0,3	14,7	0,8±0,1	18,8±1,6	10,1±4,0	30,4	33,2
<b>Разрез 15. Пашня (посадка картофеля).</b> Почва: аллювиальная дерновая слоистая глееватая супесчаная на современном аллювии							
A <sub>пах</sub> — 28	1,1	46,8	26,1±3,1	50,1±6,7	29,7±3,4	113,4	26,2
П <sub>г</sub> — 44	1,2	35,2	18,1±2,2	39,3±5,5	20,4±3,3	84,2	24,2

**Стационар «Приморский»**

**Разрез 11. Луг окультуренный (сеяный).** Почва: аллювиальная дерновая слоистая глееватая супесчаная на современном аллювии

A<sub>д</sub> — 3                      0,6    36,5    6,9±0,4    44,5±6,1    38,5±3,1    93,2\*    41,3  
A<sub>1</sub> — 11                    0,4    20,4    5,4±0,3    40,7±4,4    33,9±2,9    81,2    41,7  
П<sub>г</sub> — 39                    0,3    14,7    0,8±0,1    18,8±1,6    10,1±4,0    30,4    33,2

**Разрез 15. Пашня (посадка картофеля).** Почва: аллювиальная дерновая слоистая глееватая супесчаная на современном аллювии

A<sub>пах</sub> — 28                1,1    46,8    26,1±3,1    50,1±6,7    29,7±3,4    113,4    26,2  
П<sub>г</sub> — 44                    1,2    35,2    18,1±2,2    39,3±5,5    20,4±3,3    84,2    24,2

\* С учетом массы ВОВ, не сорбированной ионами и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и поступившими в приемник вод лизиметров. Так, для гор. A<sub>пах</sub> (разрез 15) масса ВОВ в приемнике составит 51,6 мг, а с учетом рабочей площади лизиметра 66,4 см<sup>2</sup> и расчетной 1 м<sup>2</sup> вынос будет равен 7,8 г/м<sup>2</sup>. Его суммируют с выносом по сорбентам.



**Трансформация гидрогелей ГК в сорбционных лизиметрах, установленных  
в почвах низовья р. Сев. Двины Архангельской обл.  
с 23 мая по 13 ноября (174 сут)**

Вариант опыта	Объем воды в лизиметрах, л	Сухой остаток в водах лизиметров, г/л	С <sub>орг</sub> ВОВ в водах лизиметров, мг/л	С <sub>орг</sub> в составе ВОВ, сорбированных активированным углем в колонках, мг · л <sup>-1</sup>			С <sub>орг</sub> в гидрогеле ГК после опыта, % (по Тюрину)	Масштаб сорбции гидрогелем ГК С <sub>орг</sub> ВОВ, мг
				в водо-ацетоновом элюате	в аммиачном элюате	всего		

**Холмогорский стационар. Разрез 71.** Почва: глее-подзолистая легкосуглинистая на бескарбонатной морене

**Контроль** — колонки с активированным углем (гор. А<sub>0</sub><sup>тп</sup> — 8 см)

0,61 0,404 30,6 254,4 165,4 450,4 — —

**Гидрогель ГК** плюс

слой активир. угля:

гор. А<sub>0</sub><sup>тп</sup> — 8 см

0,42 0,469 3,7 508,8 159,0 671,5 0,57\* 463,3

гор. А<sub>2</sub> — 17 см

0,51 0,415 11,0 267,1 203,5 481,6 0,41 303,3

**Стационар «Приморский», аллювиальная зона дельты р. Сев. Двины.**

**Разрез 15.** Луг окультуренный, сеяный. Почва: аллювиальная дерновая слоистая супесчаная на современном аллювии

**Контроль** — колонки с активированным углем (гор. А<sub>д</sub> — 3 см)

0,44 0,389 8,6 152,6 203,5 364,8 — —

**Гидрогель ГК** плюс

слой актив. угля:

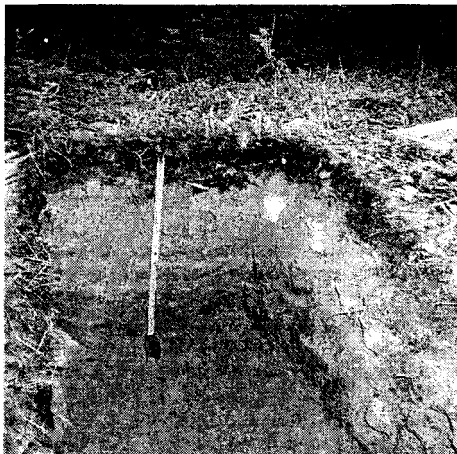
гор. А<sub>д</sub> — 3 см

0,27 0,393 15,9 114,5 82,7 213,1 0,55 443,3

гор. А<sub>1</sub> — 11 см

0,24 0,424 3,7 298,9 146,3 448,9 0,11 3,3

\* На слой песка в колонках, как указывалось выше, вносили 106,7 мг С<sub>орг</sub> гидрогелей ГК.



Опыты по изучению трансформации препаратов гидрогелей ГК в сорбционных лизиметрах позволили установить, что эти биополимеры активно поглощают компоненты ВОВ из почвенных растворов (табл. 6). Однако, когда в составе ВОВ возрастает содержание фульвокислотных компонентов и усиливается биологи-

Фото: Схема установки сорбционных лизиметров в профиле глее-подзолистой почвы на стационаре «Малые Корелы» — низовье р. Северной Двины. Фото Яшина И. М.

ческая активность почв (аллювиальные аналоги), сорбция ВОВ гидрогелем ГК резко уменьшается. Почему же в подзолистых почвах европейского Севера практически не образуются гуминовые соединения? На наш взгляд, в экологических условиях тайги для «сборки» молекул ГК не только не хватает подходящего сырья (компоненты ВОВ имеют ярко выраженные кислотные функции, не насыщены основаниями, бедны азотом и фосфором...), но и то, что указанные соединения, мобилизующиеся из опада и растительных остатков очень слабо сорбируются почвой вследствие устойчивого оглеения и специфики минералов (низкой сорбционной емкости...).

### Выводы

1. Выполнена эколого-геохимическая характеристика почв нижнего течения р. Сев. Двины, среди которых преобладают глее-подзолистые, подзолы песчаные иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые, абраземы и другие.

2. Почвенный покров отличается полигенетичностью и комплексностью. Одним из эффективных методов его познания является метод закладки катен.

3. Изучены особенности сезонной динамики процессов миграции ВОВ с помощью метода сорбционных лизиметров. Показано, что внутрипрофильная миграция ВОВ происходит весьма активно и в период вегетации, и в осенне-весенний периоды, достигая 42-93 г/м<sup>2</sup> C<sub>орг</sub> за 1 год. Компоненты ВОВ слабо сорбируются на оглеенных почвенно-геохимических барьерах. При этом они являются основной движущей силой при абиогенной миграции как продуктов почвообразования, так и ТМ.

4. Констатируется, что в почвах северной тайги (при ярком дефиците в опаде Са и N, длительном оглеении и промерзании почвенных горизонтов) образование гуминоподобных органических продуктов практически не выражено. В глее-подзолистых почвах трансформация веществ фотосинтетической приро-

ды опада в ГК не однонаправленна (и необратима), как это считается. В подзолистых почвах лишь частично образуются конечные продукты гумификации — гуминоподобные вещества. Преобладают циклические (и периодические), взаимосвязанные процессы, которым присущи сезонная (годовая...) динамика, неравновесное состояние и самоорганизация благодаря разнообразию органических лигандов, металлоорганических комплексов, коллоидов и минералов-катализаторов. Важную роль здесь играют внутрисочвенные водные потоки веществ и диффузия. Нисходящие и боковые (латеральные) миграционные потоки веществ объединяют зоны мобилизации ВОВ из растительного опада (и внесенных компостов в пахотных почвах) с минеральными горизонтами почв — зонами сорбционного взаимодействия и трансформации химических соединений.

5. При оценке водных миграционных потоков веществ в зонах техногенной добычи полезных ископаемых целесообразно использовать метод сорбционных лизиметров, а также изучать современную специфику почвообразования и экологические функции почв.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Арчегова И. Б. Влияние промораживания на сорбцию, состав, свойства гумусовых веществ (по данным лабораторных исследований). — Почвоведение, 1979, № 1, с. 39-49. — 2. Варшал Г. М., Велюханова Т. М., Кощеева И. Я. и др. Химические формы элементов в объектах окружающей среды и методы их определения. — Изв. ТСХА, 1992, вып. 3, с. 157-170. — 3. Гагарина Э. И., Счастливая Л. С., Хантулев А. А. К характеристике таежных почв области нижнего течения р. Северной Двины. — Вест. ЛГУ, сер. Почв., 1963, № 9. — 4. Горячкин С. В. Генезис и эволюция почвенного покрова пластово-денудационных и карстовых равнин (северная тайга европейской части СССР). Автореф. дисс. М.: Ин-т географии РАН, 1993. — 5. Зайдельман Ф. Р., Шваров А. П. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация. М.: МГУ, 2002. — 6. Иванов Г. И. Почвообразование в ландшафтах затрудненного водообмена. — В кн.: Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976, с. 76-127. — 7. Карпухин А. И., Ящун И. М., Черников В. А. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических

Почвы дифференцированные почвы европейской России. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1999. С. 120-127. — 19. Фокин А. Д. Разработка теории биогеохимических почвокомплексов в ландшафте. — Изв. ТСХА, 1994, вып. 2, с. 1-11. — 20. Экология северных территорий России. Проблемы, прогнозы ситуаций, пути развития, решения. — Матер. Междунар. конф. Архангельск, 17-22 июля 2002. Архангельск: Ин-т эколог. проблем Севера УРО РАН, 2002, т. 1 и 2. — 21. Экология Северной Двины. Архангельск. Изд. дом «ЛИТУС», 1999. — 22. Яшин И. М. Роль лесных барьеров в ландшафтно-геохимической миграции веществ. — В сб.: Гидроморфные почвы в генезисе, мелиорация и использование. Тверь: докл. Всерос. научно-практ. конференции МГУ, 2002. № 24. Яшин И. М., Кауричев И. С. Роль низкомобильных органических кислот в биогенной трансформации гумусовых веществ почв таежно-лесной зоны. — Изв. ТСХА, 1992, вып. 5, с. 36-42. — 25. Яшин И. М., Кауричев И. С., Черников В. А. Экологические аспекты гумусообразования. — Изв. ТСХА, 1996, вып. 2, с. 110-129. — 26. Яшин И. М., Рыжиков В. А., Шишов Л. Л. Прогноз поведения химических элементов в ландшафтах тайги при глобальном потеплении климата. В кн.: Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М.: МСХА, 2003. № 27. Яшин И. М., Кауричев И. С., Сидован Н. М. и др. Почвенное районирование территории Архангельской области. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 2, с. 65-75. — 28. Яшин И. М., Verrow M. L., Farmer V. C. Экология (сущности) процесса подзолообразования. — J. Soil Sci., 1982, 33, № 1, с. 125-136.

Статья поступила  
23 октября 2003 г.

## SUMMARY

Ecological-geochemical evaluating the condition of soil covering of forest and forest-park landscapes in lower river-part of North Dvina in Arkhangelsky region was conducted on base of the results of field (2001-2003) route investigations on stationaries «Kholmjorsky» and «Small Korels». New information about genetic specificities of soils, their taxonomy (according to new classification), degradation of soil-geochemical barriers, processes of soil formation (gleization, podzolization, lessivazh) and abiogenic migration of chemical compounds is presented.

It is stated, in particular, that scale of migration of water-soluble organic matters, their composition and properties on a level with migration of ecotoxics and succession of biota is the important and efficient diagnostic parameter, and with its help it is possible to make more exact specific feature of modern evolution and soil pollution. The obtained information will also help to improve abstract indices of maximum permitted concentration for soils which were worked out without taking into account landscape conditions, specificity of soil formation and soil genesis, only on the base of sanitary-hygienic approach.