

УДК 631.445.2: 631.417.8: 504.54

ИССЛЕДОВАНИЕ БАРЬЕРОВ МИГРАЦИИ В ПОЧВАХ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ - МСХА ИМЕНИ КА. ТИМИРЯЗЕВА

И.М. ЯШИН, П.В. КУЗНЕЦОВ, Б.В. БУРИНОВА

(Кафедра экологии РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева)

Представлены результаты стационарных исследований экологического состояния, сезонной динамики свойств и трансформации веществ барьеров миграции в почвах ЛОД РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Охарактеризованы миграционные (водные) потоки водорастворимых органических веществ, формы и масштаб миграции ряда ионов тяжелых металлов. Установлены особенности современной трансформации сорбционных барьеров миграции и роль в этих процессах антропогенных и нативных экологических факторов.

Ключевые слова: барьеры миграции, трансформация почвенных соединений, лизиметры, почвы, ионы тяжелых металлов.

В современный период наблюдается локальная трансформация барьеров миграции в почвах тайги и их постепенное химическое загрязнение ионами тяжелых металлов (ТМ) и иными экотоксикантами [1, 2]. Особенно активно оно выражено в крупных мегаполисах, где отмечается изменение свойств лесопарковых почв и гидрохимического состава поверхностных природных вод, что влияет на экологическую безопасность населения и биоты [16]. Информации подобного рода пока недостаточно, поэтому необходим локальный мониторинг и оценка состояния сорбционных барьеров миграции.

В статье обобщены результаты исследований экологического состояния ненарушенных почв и трансформации ряда барьеров миграции

в ландшафтах Лесной опытной дачи (ЛОД) РГАУ - МСХА имени КА. Тимирязева*.

Объекты и методы исследования

Географически изучаемая территория расположена на макроразделе реки Яузы и Москвы-реки с абсолютными отметками высот 165—175 м над у.м. Урочища ЛОД используются более 200 лет и сложены сильно сглаженными холмами и древними долинообразными ложбинами стока. Почвообразующие породы представлены бескарбонатной сильнокаменистой мореной и покровными суглинками. Почвенный покров ЛОД в 1952 г. был изучен П.П. Гречинным. Позже (1969-2003) здесь проводили комплексные почвенно-экологические

* Авторы выражают благодарность за помощь в полевых исследованиях И.Г. Платонову, Л.В. Мосиной, В.А. Раскатову, аспирантам и студентам-дипломникам.

(в т.ч. и лизиметрические) исследования под руководством И.С. Кауричева [7, 13-16]. Лесотаксационная оценка древостоя ЛОД на 25 пробных площадях проведена А.Н. Поляковым [10].

Водную внутривершинную миграцию водорастворимых органических веществ (ВОВ) и ионов тяжелых металлов в почвах ЛОД изучали с помощью метода сорбционных лизиметров (МСЛ). Жесткие пластмассовые колонки с приемниками вод (на 1 — 1,5 л) устанавливали под генетические горизонты почв в 2-4-кратной повторности и располагали их или под кронами модельных деревьев, или в «окнах» между ними. Использовали следующие типы сорбентов: низкочувствительный активированный уголь, размер частиц 0,25—0,1 мм, основной оксид алюминия для хроматографии, ионообменные синтетические смолы (катионит КУ-2 в H^+ форме и аниониты-полифункциональный ЭДЭ-10п и монофункциональный АВ-17 и ОН форме). В сорбционных колонках оксид алюминия в смеси с песком располагали слоем 1,5—2,5 см обычно в нижней части колонки* (над дренажем), а в верхней — низкочувствительный активированный уголь «карболен» (частицы 0,1 ~ 0,5 мм). Сорбенты разделяли 2-3-сантиметровым слоем чистого кварцевого песка. Контакт рабочей поверхности колонок ($S_{\text{раб}} = 66,4 \text{ см}^2$) с потолком ниш в горизонтах почв осуществлялся также через слой химически очищенного кварцевого песка.

Морфологию почвенных барьеров миграции исследовали путем закладки серий разрезов (катен), а химические свойства почв — традиционными физико-химическими методами [1, 2, 7, 16]. Результаты ландшафтно-экологического картирования позволили выбрать ненарушенные в период

Великой Отечественной войны учетные площади почв и установить в них сорбционные лизиметры.

Результаты и их обсуждение

Полевая диагностика свойств почвенных горизонтов (как барьеров миграции) в конечном итоге определяет генетическую оценку почвы, дополняемую результатами лабораторных химических анализов. Морфологические признаки почв, по мнению Б.Б. Полянова [9], могут быть объединены в 3 группы: 1-я включает те из них, которые приурочены к отдельным горизонтам, 2-я — рассеянные по всему профилю и 3-я охватывает свойства, присущие какой-то части профиля и не совпадающие с границами горизонтов. В последствии им был предложен метод, основанный на модельном расчленении почвенного профиля на составляющие его субпрофили. В наиболее завершенном виде этот подход нашел известное подтверждение в работе [11].

Двучленное строение профилей почв, характерное для территории ЛОД, включает верхний песчано-супесчаный «чехол» и тяжелосуглинистый нижний слой, которые соприкасаются в пределах 1 м через четко выраженный контактно-глеевый горизонт EL'_g . Именно субпрофиль подзола с горизонтами A_0 , E_h и B_f испытывает в современный период активное биогеохимическое воздействие таежной биоты и продуктов ее жизнедеятельности: он периодически (весной и осенью) прокрашивается миграционными компонентами ВОВ и органоминеральными соединениями Fe, Mn — «потечным гумусом». Данный процесс в альфе-гумусово-железистых подзолах европейского Севера впервые отметил В.О. Таргу-

* Подобный порядок сорбентов позволяет регулировать скорость фильтрации в колонках при их набивке, чтобы устранить «дренажную функцию» установки. Рекомендации авторов изложены в публикациях [7, 15].

льян и назвал его эффектом «гумусовой занавески» [16]. Наряду с естественными органическими кислотами на субпрофиль подзола воздействуют и продукты антропогенеза, в частности, «кислотные дожди». Аддитивное действие органических и сильных минеральных кислот активизирует кислотный гидролиз минералов и коллоидов, что находит отражение в трансформации и водной миграции продуктов почвообразования и техногенеза в профиле изучаемых почв.

Развивая идеи В.В. Докучаева, Б.Б. Полюнов и отечественные 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 [3]: 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 г., которая пока не утверждена, но активно обсуждается, порождая научные дискуссии. Следует подчеркнуть, что 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 МГ: 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, саж, аэрозолей «кислотных дождей» и др.). При этом оценка миграционно способных продуктов почвообразования и техногенеза в почвах связана как с диагностикой морфологических признаков и корректным отбором образцов, так и с изучением их водорастворимых компонентов (ВОВ и других соединений) и новообразований — сегрегированных форм Fe, Mn.

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 ₀ 0–1 (1 см) | — | слаборазвитая, рыхлая, бурая лесная подстилка; |
| A ₁ 1–15 (14 см) | — | свежий, рыхлый, неоднородно окрашенный: темно-серый с редкими белесыми пятнами во влажном состоянии (и белесо-светло-серый в сухом), супесчаный, непрочно мелкокомковато-плитчатый, гнездами копролиты червей, интенсивно пронизан корнями, редко угольки, пропитан «потечным гумусом — компонентами ВОВ», очень редко кротовины, редкие камни, переход волнистый по цвету; |

- $E_{(hg)}$ 15–25 (10 см) — свежий, белёсый с мелкими сизоватыми пятнами и серыми затеками, супесчаный, непрочно плитчатый (на изломе мелкие 1–2 мм Fe-Mn конкреции), слабо уплотненный, «гнезда» Fe-Mn конкреций размером не более 3 мм в диаметре хаотично разбросаны по горизонту, дресва и редко камни, отдельные крупные корни, переход размытый и волнистый;
- B_{th} 25–44 (19 см) — влажный, охристый с серыми пятнами и затеками BOB, песчаный, бесструктурный, рыхлый, локально сцементирован сегрегированными коллоидами Fe и уплотнен, псевдофибры Fe в виде тонких — до 3,5 мм линз, единичные крупные корни и камни, переход ясный по цвету и плотности;
- EL'_g 44–58 (14 см) — контактно-глеевый горизонт: влажный до сырого (после дождей), сизовато-белёсый, тяжелосуглинистый, заметно опесчаненный, плотный, крупноплитчатый, аморфные формы Fe, Si и Mn, липкий, много мелких камней, 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 горизонта EL_q , 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 опесчанен), глыбистый, очень плотный (до слитого), отдельные сизовато-белесые языки, опускающиеся из горизонта 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-глееватый сезонно-гумусированный* супесчаный на двучленных отложениях.

Морфологические признаки почв ЛОД в динамике изучали в летний и осенне-зимние периоды 1997–2008 гг. Ниже приведены наиболее характер-

ные 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 микромонологит мощностью 37 см. В поле, а также в лаборатории после подсыхания микромонологита изучены морфологические признаки. Почва не замерзшая.

Авторы предлагают использовать данный термин для обозначения почв с «гумусовой занавеской»: с сезонной маскировкой горизонтов A_vE_h и E_{hg} BOB и органоминеральными соединениями Fe, Mn.

- A_0 0–2 (2 см) — бурая, рыхлая, ненарушенная лесная подстилка, мелкие веточки;
- A_1 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 $Fe(OH)_3$, на которых и сорбируются миграционные формы BOB; как и нижележащий горизонт — это слой пропитан «потечным гумусом», переход постепенный по цвету; его мощность достоверно уменьшилась с 15 до 9 см;
- E_{hg} 9–24 (15 см) — белесый с очень слабым сероватым оттенком на глубине 12–15 см, супесчаный, рыхлый, плитчато-пластинчатый, много Fe-Mn мелких конкреций (до 1,5 мм), которые ранней весной трансформируются в коллоиды $Fe(OH)_3$, редко мелкие камни, переход постепенный по цвету;
- B_f 24–40 (16 см) — светло охристо-бурый, супесчаный, рыхлый, локально уплотнен, непрочно-комковато — крупно-плитчатый, коллоиды $Fe(OH)_3$ диффузионно пропитывают мелкозем, который в период вегетации активно сорбирует BOB и органоминеральные формы Fe, Mn вследствие чего, наблюдается трансформация соединений гор. B_f ; 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. B_f

Морфологические признаки гор. B, BC и C, отмеченные летом, остались визуально не измененными.

Почва ранней весной диагностируется как подзол контактно-глееватый супесчаный, развитый на двучленных отложениях. Горизонт стал менее 10 см (от 7 до 9 см).

Было отмечено, что после полного схода снежного покрова (19–22 апреля) верхние горизонты подзола (A_1 , E_h и E_{hg}) постепенно окрашивались в палево-белесо-серый цвет со «стальным оттенком». Интенсивность серого цвета возрастала в период вегетации и достигала максимума к середине августа, когда они имели четкие признаки субстантивного гумусово-аккумулятивного гор. A_1 . Причем пропитка супесчаного «чехла» компонентами BOB (и водорастворимыми формами Fe, Mn-органических

соединений) была не фронтальной, а мозаичной и размыто-полосчатой, в частности, в слое 2–24 см (31 см). В глубь почвы миграция BOB происходит также по редким, изогнутым темно-серым «тяжам» 1,5–2,4 см в диаметре (длинной 42–54 см) 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 BOB.

Напомним, что физико-химические барьеры миграции формируются в почвах и рыхлых породах при радикальном изменении физико-химической обстановки миграции: появлении коллоидов, увеличении концентрации ионов водорода, кальция, солей и

* Следует отметить, что это не ходы сгнивших корней. В плотных горизонтах B_g и BCg корней не обнаружено.

газов, изменении водного режима, характера сорбции и фракционирования мигрантов. На территории ЛОД изучены глеевый и сорбционный барьеры миграции почв.

Глеевые барьеры миграции 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 наблюдается и в нижних частях склонов холмов. Развитие оглеения связано с наличием доступных форм органических веществ, анаэробных микроорганизмов и дефицита молекулярного кислорода [2, 6]. На глеевом барьере осаждаются анионы AsO_4^{3-} , $Fe(OH)_2$, PO_4^{3-} , а также селен. Здесь отмечается масштабная мобилизация и диффузионная форма миграции ионов железа и марганца при активном участии ферментов микрофлоры и компонентов ВОВ. Интенсивно формируются коллоидные системы Si, Fe, Al, Mn, которые сами являются активными сорбентами [2, 13-16]. Глеевые горизонты — прекрасные естественные водоупоры. Своеобразным глеевым барьером на ЛОД является контактно-глеевый горизонт EL'g в подзолистых почвах с двучленным строением профиля. В отличие от верхних горизонтов оглеение 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. B_h и E_{hg} . В дальнейшем именно на них сорбируются при нисходящей миграции ВОВ, маскируя характерный охристо-бурый цвет иллювиально-железистого и бе-

лесый подзолистого горизонтов [13]. По-видимому, подобная восходяще-нисходящая пульсация соединений Fe, Mn, Al (под защитой ВОВ) в супесчаном чехле в известной мере отражает проявление лессиважа.

Насколько сложна диагностика оглеения отмечал еще В.В. Докучаев, а затем и другие исследователи [6, 7, 14]. На примере элементарных почвенных процессов (ЭПП) можно понять разнообразие свойств оглеенных горизонтов, которые их формируют: виридизация (формирование грин раста), оливизация (обезжелезнение), полиозация (посерение) и меланизация (почернение), [2]. В этой связи оглеение в почвах подразделяют на четыре группы: 1-я — восстановленный глей или собственно оглеение, 2-я — окисленный глей, или пятнистое оглеение, 3-я — сульфидное оглеение, связанное с реакциями трансформации анионов SO_4^{2-} в сероводородную кислоту и сульфиды металлов (также имеющих почти черный цвет в маршевых почвах морских побережий), 4-я — сульфатное пятнистое оглеение. Третья и четвертая группы оглеения в почвах ЛОД не обнаружены. По мнению [6], оглеение выражается в обезжелезнении и удалении мобильных органо-минеральных и иных форм Fe из профиля в анаэробной обстановке. Причем «холодные» тона оглеенных горизонтов обязаны цвету глинистых частиц, лишенных пленок (гидр) оксидов Fe (III) [2]. Авторы не уточняют направление и глубину фронта мигрантов, а также возможность возврата части их массы за счет сезонных гидротермических и концентрационных градиентов. По мнению [13-16], в почвах подзолистого типа, испытывающих сезонное переувлажнение верхних горизонтов, протекает элювиально-глеевый процесс.

Сорбционные барьеры формируются в почвах, почвообразующих породах и рыхлых корах выветрива-

ния ЛОД, богатых коллоидами, вторичными минералами и гумусом. Эти вещества отличает очень развитая поверхность раздела фаз, которая и обуславливает их полифункциональность как сорбентов. Гумусовые соединения, глинистые минералы, гидроксиды кремния и марганца, имеющие отрицательный знак заряда, сорбируют из растворов положительно заряженные ионы, а также анионы по типу осадочной сорбции [1, 12, 17]. Данный барьер может быть одно-, и двусторонним.

К сорбционным барьерам относятся следующие горизонты почв Лесной опытной дачи: органогенный — лесная подстилка (гор. A_0 или O); гумусово-аккумулятивный (гор. AD который корректнее оценить в супесчаных почвах ЛОД как сезонно гумусированный — A_1 и E_h ; иллювиально-железистый (гор. B_f), трансформирующийся в E_h/B_{gf} и иллювиальный (текстурный гор. B_t).

Химические свойства барьеров миграции весьма динамичны во времени. Например, величины pH_{kcl} верхних генетических горизонтов, определенные в августе, находились в пределах 3,0–4,4 и характеризовались очень сильно кислой реакцией. Подобная ситуация отмечена для всех

8 изученных профилей. Наиболее высокие значения pH_{kcl} обнаружены в комплексном барьере (гор. A_1 ; E_{hg}); в глубь 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). Следствием подобной ситуации является интенсивное выщелачивание из почв обменно-поглощенного кальция с замещением его ионами алюминия и водорода; отмечается также трансформация гуматно-фульватного состава гумуса в фульватный; наблюдается кислотный гидролиз вторичных минералов и вынос новообразованных продуктов с гравитационной влагой в глубь почвы. Ионы водорода способствуют гидролизу гидрогелей гидроксидов Al и повышению концентрации ионов обменного Al^{3+} в твердой фазе почвы по реакции: $Al(OH)_3 + 3H^+ = Al^{3+} + 3H_2O$. Ионы Al^{3+} весьма негативно влияют на биоту при содержании в почве 3 мг/100 г. В предзимье и в 1-й декаде марта (фазы глубокого покоя растений и биоты) величины pH в гор. A_1 ; E_h и E_{hg} варьировали в пределах 4,8–5,3, а летом вновь отме-

Т а б л и ц а 1

Изменение величин pH_{kcl} по горизонтам дерново-подзолов контактно-глееватых супесчаных, развитых на двучленных отложениях. Отбор почвенных образцов — 5 августа 1996 г. (в табл. 2–3 те же сроки отбора проб почвы)

Квартал	Пробная площадь	Ориентировочный возраст насаждений, лет	Горизонты (барьеры) почв		
			A_1 , 2–12 см (сорбционный, сезонно-гумусированный)	E_{hg} , 25–35 см (сорбционный, сезонно-оглеенный)	ELg/B ($EL'g$) 50–60 см (контактно-глеевый)
7 (сосна)	«Р»	34	3,5±0,5	3,0±0,7	4,5±0,1
8 (лиственница)	«В»	40	3,0±0,4	3,2±0,2	4,6±0,2
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»	115	3,2±0,1	3,4±0,1	4,8±0,1
10 (лиственница)	«А»	117	3,5±0,5	3,4±0,2	4,6±0,3
7 (сосна)	«П»	122	4,4±0,3	4,0±0,1	4,9±0,1
В среднем по 8 кварталам			3,4	3,5	4,7

чалось увеличение кислотности почв. На участках ЛОД вблизи автодороги, при усилении пылевой нагрузки, величины рН 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 мгэкв/100 г почвы (табл. 2). Карбонаты кальция залегают глубже 1,5 м и в процессах современного почвообразования активного участия не принимают.

Значения гидрологической кислотности высокие как в гор. A_1/E_{hg} , так и в нижних — E_{hg} , EL/B_g : 3,7-6,4

мгэкв/100 г. Почвы старовозрастных посадок лиственницы и сосны характеризуются более высокими значениями H_r (12,3-21,5 мгэкв/100 г). Этот факт генетически связан с мобилизацией в раствор из растительного опада лесных подстилок и корневых выделений ВОВ. Биогенное кислотообразование способствует формированию разнообразных по составу и свойствам органических кислот, а также полифенолов [1, 12, 15].

Содержание гумусовых веществ (табл. 3) в гор. A_j лесопарковых почв ЛОД характеризуется как очень высокое; обычно оно не превышает 2,5-3,2% (фоновая площадка в учо-

Т а б л и ц а 2

Сумма щелочно-земельных оснований ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, мгэкв/100 г почвы) в дерново-подзолах контактно-глееватых, развитых на двучленных отложениях

Квартал	Пробная площадь	Возраст насаждений, лет	Горизонты (барьеры) почв		
			A_1 (2–12 см)	E_{hg} (25–35 см)	$ELg/B(EL'g)$ (50–60 см)
7 (сосна)	«Р»	34	3,38±0,97	3,47±0,74	4,94±1,43
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»	115	3,68±0,67	0,36±0,09	0,86±0,23
10 (лиственница)	«А»	117	6,21±3,14	1,49±0,77	1,36±0,29
7 (сосна)	«П»	122	12,00±3,17	5,35±3,24	3,62±0,29
Среднее значение при n = 8			4,21	1,92	1,76

П р и м е ч а н и е . Среднее значение изучаемого признака не соответствует правилу трех сигм: очень активно выражены флуктуации содержания обменно-поглощенных кальция и магния в почвах.

Т а б л и ц а 3

Содержание гумусовых веществ ($C_{орг} \times 1,724$, %) в дерново-подзолах контактно-глееватых супесчаных, развитых на двучленных отложениях

Квартал	Пробная площадь	Возраст насаждений, лет	Горизонты (барьеры) почв		
			A_1 (2–12 см)	E_{hg} (22–35 см)	Eg/Bg (EL'g) (50–60 см)
7 (сосна)	«Р»	34	4,4±0,6	1,7±0,3	0,4±0,1
8 (лиственница)	«В»	40	6,5±0,9	1,6±0,2	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»	109	7,0±1,4	1,4±0,2	0,5±0,1
5 (лиственница)	«Ж»	115	6,0±0,8	1,8±0,5	0,3±0,1
10 (лиственница)	«А»	117	7,6±0,9	1,1±0,2	0,3±0,04
7 (сосна)	«П»	122	4,3±0,7	1,8±0,6	0,2±0,03
Среднее значение при n = 8:			6,2	1,7	0,4

зе «Михайловское» Подольского р-на Московской обл., лесная опушка) [15]. Судя по аналитическим данным и результатам изучения миграции ВОВ, в верхних горизонтах почв ЛОД активно выражена их нисходящая миграция. Поэтому гор. E_h лесных супесчаных подзолов пропитывается компонентами ВОВ, в частности, полифенолами и органоминеральными соединениями Fe, Mn почти черного цвета, и в летний сезон диагностируется как гор. A_v . В такой ситуации оценка мощности гумусового горизонта в полевых условиях завышается. Нехарактерно высокое содержание углерода в гор. A_2 (см. табл. 3), возможно, связано с выпадением аэрозольных частиц саж, интенсивно сорбирующей миграционные компоненты ВОВ. Здесь необходимы дополнительные стационарные наблюдения.

В этой связи были изучены особенности миграции ВОВ и мобильных форм ТМ с помощью метода сорбционных лизиметров, который широко применялся в почвенно-агрохимических и экологических исследованиях, в частности, в 50–80-х годах XX столетия [7, 16]. Одним из достоинств данного метода является получение информации о составе и свойствах почвенных растворов и лизиметрических вод непосредственно в почвах и экосистемах.

В почвенно-геохимической миграции веществ важную роль играет круговорот воды и тип водного режима. Причем вода выступает связующим носителем не только между звеньями биогеохимического круговорота веществ, но и в геохимических циклах водной миграции. В течение года вода переходит из одного агрегатного состояния в другое (при этом она не только заряжается энергией, но и очищается от примесей), постоянно перемещается в почвенном пространстве под действием силы тяжести и пленочно-капиллярных потоков, со-

средотачиваясь в местных базисах эрозии и обогащаясь продуктами жизнедеятельности биоты [16, 18].

Показано, что в гор. (на органоминеральных сорбционных барьерах почв ЛОД) аккумулируется разное количество ВОВ в зависимости от вида элементарных геохимических ландшафтов (ЭГЛ): на плакоре, в элювиальных ЭГЛ задерживается 85,7% мигрируемых ВОВ; на склоне, в транс-элювиальных ЭГЛ — 45,1%, а в транс-аккумулятивном — 65,5%.

По профилю изучаемых почв миграция ВОВ наиболее активно выражена в фациях сосны, произрастающей на пологом склоне холма (табл. 4). Для оценки компонентного состава ВОВ наряду с Al_2O_3 использовали низкозольный активированный уголь «карболен». Сорбированные активированным углем ВОВ в лаборатории фракционировали по аналитической схеме *W. Forsyth* в модификации И.М. Яшина [16]. Было установлено, что химически активированный (низкозольный) уголь более полно сорбирует ВОВ в сравнении с оксидом алюминия (табл. 5). Кроме дерново-подзолов, развитых на двучленах, активная водная миграция ВОВ отмечена и в дерново-подзолистой легко-суглинистой почве, сформированной на бескарбонатной морене (квартал 13, разрез 47, посадка дуба). В составе компонентов ВОВ идентифицированы как индивидуальные (алифатические органические кислоты, полифенолы, аминокислоты), так и специфические органические соединения, в частности, фульвокислоты (ФК). Соотношение их масс было неоднозначно в изученных профилях: в почвенных растворах из лесной подстилки содержалось больше простых индивидуальных органических соединений, а после контакта с минералами почвы и коллоидами Fe, Al, Mn в составе ВОВ достоверно увеличивалось содержание ФК — более химически ак-

тивных продуктов почвообразования. Возможно, вследствие биогеохимической деградации гумусовых веществ почвы [14].

Сорбция элювиальными (супесчаными) горизонтами «миниподзола» мигрируемых ВОВ незначительная, большая часть их массы почти транзитом проходит через профиль с гравитационной влагой. Причем определенная их масса, главным образом фульвосоединения, может диффузионно подтягиваться в верхние слои почвы из гор. Е_н в зимний период.

Установлена миграционная активность водо- и кислоторастворимых форм ионов ТМ на сорбционном барьере — в верхнем горизонте (0-12 см) почвенных профилей (табл. 6, 7). Их источником являются автотранспорт, ТЭС и промышленные предприятия. Отмечена сорбция тонкодисперсных

частиц пыли и сажи снежным покровом.

В наших полевых опытах нисходящий вынос положительно заряженных ионов ТМ (по их сорбции катионитом КУ-2 в Н⁺ форме) составил (мг/м²-год⁻¹): Pb²⁺-13,1; Cd²⁺ — 3,3; а для Zn²⁺ — 315,7. Масштаб миграции органоминеральных форм ТМ — по сорбции на активированном угле — был следующим (мг/м²-год⁻¹): для Pb — 21,3; Cd — 1,8 и для Zn — 62,3. Известно, что уголь сорбирует органоминеральные формы ТМ, а катионит КУ-2 в Н⁺ форме — положительно заряженные ионные формы ТМ [16]. Суммарный средний вынос ТМ составил (мг/м²-год⁻¹): для Pb — 34,4; для Cd — 5,1; для Zn — 378,0. Показано, что свинец мигрирует главным образом в форме свинецорганических комплексных соединений (61,9% от

Т а б л и ц а 4

Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ в дерново-подзолах контактно-глееватых супесчаных, развитых на двучленных отложениях, июнь 1992 — июнь 1993 гг.

Генетический горизонт и глубина установки колонок, см	Общий углерод в почве, %	Вынос C _{орг} ВОВ, г/м ² x год*		Сорбция и минерализация ВОВ в почве, %
		верхний слой оксида алюминия	нижний слой оксида алюминия	
Плаксор холма. Квартал 11. Лиственница				
О – 2**	Не опр.	7,4±0,6	3,80±1,4	Не опр.
A1/Eh – 22	3,9±0,2	1,2±0,7	0,40±0,15	85,7
Egh – 34	0,7±0,1	0,9±0,5	0,60±0,4	Не опр.
EL'g – 57	0,4±0,1	0,2±0,1	0,13±0,3	Не опр.
Подошва склона холма. Квартал 11. Дуб				
О – 3	Не опр.	11,8±3,2	4,70±0,4	Не опр.
A1/Eh – 24	4,4±0,5	3,5±1,4	2,20±0,3	65,5
Egh – 32	0,9±0,4	1,4±0,6	1,10±0,3	Не опр.
EL'g – 63	0,5±0,3	0,6±0,5	0,45±0,1	Не опр.
Середина склона холма. Квартал 11. Сосна				
О – 1	Не опр.	5,3±2,0	2,90±0,7	Не опр.
A ₁ /Eh – 18	2,1±0,9	3,8±1,7	0,65±0,4	45,1
Egh – 35	0,5±0,4	2,6±1,5	0,51±0,2	Не опр.
EL'g – 70	0,2±0,1	1,4±0,9	0,32±0,1	Не опр.

* В сорбционных лизиметрах использованы 2 слоя оксида алюминия. Повторность закладки колонок 3-4-кратная; указаны средние величины и ст. С_{орг} определяли в средних пробах 3-5 г оксида алюминия по методу Тюрина.

Масштаб вертикальной нисходящей миграции ВОВ и их состав в почвах

Горизонт и глубина установок колонок, см	Объем воды в приемниках лизиметров, л	C _{орг} ВОВ, мг/л			Вынос C _{орг} ВОВ, г/м ² за 1 год	C _{орг} неспецифических органических веществ в составе ВОВ, %	Сорбция и минерализация ВОВ гор. А ₁ , % к поступившему
		в приемниках вод	в водоацетонном элюате угля	в аммиачном элюате с угля (ФС)			
Фоновая стационарная площадка в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской обл.; наблюдения: июнь 1988 — июнь 1989 г.							
Парцелла — под кроной ели; разрез 15 — сильноподзолистая среднесуглинистая на покровных отложениях							
A ₀ (O), 2	2,15	2,8	135,2	52,9	60,5	71,9	—
A ₀ A ₁ , 8	1,35	3,2	89,7	117,3	43,7	43,3	27,8
EL _h , 29	0,52	6,0	130,9	233,5	28,5	35,9	34,8
Стационарные площадки на ЛОД							
Парцелла — под кроной дуба. Квартал 13. Разрез 47: дерново-подзолистая легкосуглинистая на морене. Наблюдения 1 год: июнь 2001 — июнь 2002 г.							
A ₀ (O), 3	1,54	2,9	417,4	95,8	38,6	81,3	—
A ₁ , 14	1,15	6,3	74,2	186,7	19,7	28,4	49,0
Ehg, 27	0,93	8,4	35,7	216,8	19,0	14,1	3,6
Парцелла — под кроной лиственницы. Квартал 7. Разрез 15Л.							
Дерново-подзол контактно-глееватый супесчаный, развитый на двучленных отложениях. Плакор холма. Наблюдения 1 год: июнь 2001 — июнь 2002 г.							
A ₀ (O), 2	1,74	11,6	537,3	204,5	55,9	72,4	—
Eh, 15	1,43	8,8	204,2	371,9	43,4	35,4	22,4
Ehg, 28	0,84	15,6	114,8	227,3	25,7	33,6	40,8
Квартал 7. Разрез 15Л. Наблюдения в период вегетации: 05.06.01 — 21.09.01 г.							
A ₀ (O), 2	0,25	1,4	89,5	137,1	17,1	39,5	—
Ehg, 16	0,22	3,6	37,9	88,2	9,5	30,1	44,4
Квартал 7. Разрез 15Л. Наблюдения в абиогенный период: 15.10.01 — 21.05.02 г.							
A ₀ (O), 2	1,22	4,8	313,7	184,2	37,5	63,0	—
Ehg, 29	1,37	11,5	176,3	219,8	29,8	44,5	20,5
Квартал 7. Разрез 15Л. Опыт по изучению восходящей миграции: 15.10.01 — 21.05.02 г.							
Ehg, 28	—	—	74,2	192,8	20,1	27,8	Возврат 53,6%

П р и м е ч а н и е . Сорбция ВОВ почвой отражает соотношение их масс на входе и выходе из генетического горизонта при миграции; заметная масса ВОВ при этом биodeградирует. Здесь, в принципе, и реализуется понятие «градиент барьера» миграции.

массы мигранта). Кадмий и цинк — преимущественно в форме простых и сложных положительно заряженных катионов, которые поглощались катионитом КУ-2 в H⁺ форме.

В 4-м варианте полевого опыта, где изучалась сорбция водорастворимых и миграционных форм ТМ слоем порошка доломита (2 мм) в сорбци-

онных колонках, было установлено, что ионы Pb²⁺ весьма активно сорбируются указанным химическим мелиорантом в колонках (табл. 7).

В сорбентах, располагавшихся в колонках ниже слоя CaCO₃·MgCO₃, было диагностировано (мг/м²): 5,3 Pb²⁺ (в контроле 21,3); 0,84 Cd²⁺ (в контроле 1,8) и 68,3 Zn²⁺ (в контроле

Таблица 6

Мобилизация и миграция ионов тяжелых металлов в гор. А₁ дерново-подзола супесчаного, развитого на двучленных отложениях продолжительность опыта, июнь 1999 — июнь 2000 г. Квартал 7: парцелла — лиственница + подлесок из клена

Вариант опыта, глубина установки колонок, см	Зна- чения при- знака	Ионы ТМ, вытесненные из сорбентов, мг/м ² ·год ⁻¹						Общий масштаб миграции ионов тяжелых метал- лов за 1 год (акт. уголь + КУ-2), мг/м ²		
		2% NH ₄ OH элюат из активирован- ного угля			0,1 н. HNO ₃ элюат из КУ-2					
		Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Zn ²⁺
1. Контроль 1* сорбционные колонок с сорбентами — КУ-2 и акт. углем (10 см)	x	31,5	2,5	72,4	13,7	4,2	378,4	45,2	6,7	450,8
	σ	13,4	0,8	54,4	4,0	7,9	24,2			
	P,%	42,5	32,2	72,5	28,8	88,3	6,4			
2. Контроль 2 — колонки с акт. углем и КУ-2 (12 см)	x	14,3	1,3	44,9	10,0	4,2	378,4	24,3	2,0	195,4
	σ	1,7	0,4	31,6	7,6	7,9	24,2			
	P,%	12,2	30,4	69,8	75,9	90,3	80,1			
3. Контроль 3 — колонки с акт. углем и КУ-2 (12 см)	x	18,1	1,7	69,7	15,6	1,5	190,2	33,7	3,2	259,9
	σ	0,5	0,5	56,9	8,3	0,2	74,4			
	P,%	29,3	29,3	81,7	53,4	11,2	39,1			
В среднем по варианту контроль:	x	21,3	1,8	62,3	13,1	3,3	315,7	34,4	5,1	378,0
Сорбция ТМ активированным углем и КУ-2 (%) от общего масштаба миграции		61,9	45,0	20,6	38,1	55,0	79,4	—	—	—

* В контроле 1, 2, 3 установлены серии колонок (3-4 повторности) с катионитом КУ-2 в Н⁺ форме (верхних слой) и активированном угле (нижний слой) — над дренажем.

Таблица 7

Миграция ионов тяжелых металлов в дерново-подзоле супесчаном, развитом на двучленах, и их сорбция СаСО₃, МдСО₃ и сорбентами в сорбционных лизиметрах, июнь 1999 — июнь 2000 г. Квартал 7: парцелла, гор. А₁: лиственница + подлесок из клена

Вариант опыта: установка колонок с сорбентами и мелиорантом	Зна- чения при- знака	Ионы тяжелых металлов, вытесненные из сорбентов мг/м²·год⁻¹						Общий масштаб миграции ионов тяжелых металлов (сорбция сорбен- тами, мг/м²·год⁻¹)		
		активированного угля — 2% NH₄OH			катионита КУ-2 — 0,1 н. HNO₃					
		Pb²⁺	Cd²⁺	Zn²⁺	Pb²⁺	Cd²⁺	Zn²⁺	Pb²⁺	Cd²⁺	Zn²⁺
4. Порошок доломита (верх) и сорбенты: акт. уголь и КУ-2 Сорбция ионов ТМ доломитом / % контролю	х	5,3	0,84	68,3	10,6	2,2	146,3	15,9	3,04	214,6
	σ	1,1	0,23	0,33	1,7	0,3	68,4			
	<u>16,0*</u>	<u>0,96</u>	Отриц.	<u>2,5</u>	Отриц.	<u>93,4</u>	<u>18,5</u>			
		75,1	53,3	сорбция	19,1	сорбция	39,0	53,8	24,0	28,9

* По разности между параметрами «контроль» (средние значения х) и вариантами с доломитом, плюс те же сорбенты.

62,3). В отношении ионов Zn^{2+} установлена «отрицательная сорбция», т.е. мобилизация катионов Zn^{2+} в жидкую фазу из мелиоранта. Часть катионов Cd^{2+} , вытесненных из КУ-2 в лаборатории водным раствором 0,1 н. HNO_3 , также была мобилизована из мелиоранта преимущественно в форме катионов компонентами ВОВ. Порошок доломита является поглотителем ионов ТМ, кроме цинка. В этой связи уместно отметить, что токсичность ТМ в почвах определяется не столько их абсолютным (валовым) содержанием, сколько формой их миграции. Наиболее опасны для биоты мобильные ионно-молекулярные соединения ТМ, которые пульсируют в почвенных растворах ЛОД и надежно диагностируются с помощью МСЛ. Подобные формы ТМ, как известно, выполняют роль «двойников» в ферментах живых организмов, нарушая их функции и вызывая различные эндемии.

На основании литературных сведений и собственных наблюдений можно заключить, что химическое загрязнение почв ЛОД ионными формами ТМ увеличивается при наличии в профилях сорбционных барьеров миграции: гумусово-аккумулятивного, органогенного, а также суглинистого иллювиального горизонтов. Химическое загрязнение уменьшается при развитии сезонного анаэробизма почв, их периодическом подкислении, формировании доступных для биоты органоминеральных соединений и активной нисходящей миграции ВОВ. Глеевые барьеры дополняют сорбционные, подготавливая и переводя, например, переходные металлы в активное химическое состояние — закисные формы Fe, Mn, Cr, их коллоидные системы, которые являются весьма эффективными сорбентами для ионов ТМ [2, 6, 8]. В почвах ЛОД наблюдаются процессы миграционного самоочищения, кото-

рые и обуславливают экологическую устойчивость почв. Отмечена фитосанитарная функция древесных насаждений, задерживающих аэральные продукты антропогенеза. В этой связи под кронами деревьев выявлены локальные очаги с аномально высокими концентрациями ионов свинца и цинка. Наибольшее химическое загрязнение почв ТМ отмечено и на участках вблизи автострад — в 10-30-метровой зоне.

Выводы

1. Изучена сезонная динамика морфологических свойств сорбционных и глеевых барьеров миграции в почвах ЛОД. На их функционирование большое влияние оказывает двучленное строение профилей почв, а также контактно-глеевый гор. EL'g, в котором формируются коллоидные системы Fe, Mn, Al и Si при сезонном оглеении. Динамика химических свойств почв ЛОД тесно связана с водной миграцией в профилях дерново-подзолов компонентов ВОВ.

2. Сорбционные барьеры (горизонты A_{1c} , Bf и частично E_{hg}) в летний сезон имеют очень сильно кислую реакцию, ненасыщены щелочноземельными катионами и содержат большое количество водорастворимых органических веществ, поступающих как из лесной подстилки, опада, так и со смывами с вегетативных органов и корневых выделений растений. В предзимье и ранней весной кислотность почв заметно снижается. В указанных барьерах четко выражен сезонный эффект «гумусовой занавески»: маскировка миграционными компонентами морфологических признаков почвы — E, Bf.

3. Сорбция ВОВ в супесчаном субпрофиле подзола незначительная, большая часть их компонентов почти транзитом проходит через профиль с гравитационной влагой. При внутрисочвенной миграции в составе ВОВ с глубиной достоверно увеличивается масса специфических продуктов — фульвосоединений (ФС), участвующих в кислотном гидролизе минералов и коллоидов. Фульвокислоты

совместно с компонентами «кислотных дождей» обуславливают вынос из почвы ионообменного кальция и накопление в твердой фазе ионов алюминия, токсичных для биоты.

4. ВОВ с кислотными свойствами вызывают интенсивную трансформацию антропогенных частиц пыли и сажи, мобилизацию из них в почвенный раствор ионов ТМ, формирование комплексных соединений с компонентами ВОВ и их абиогенную миграцию. Сорбционным барьером миграции для ТМ выступают почвенные минералы, гуминовые веще-

ства и карбонатно-кальциевый барьер в подстилающих породах.

5. Древесные насаждения ЛОД способствуют очищению загрязненных воздушных масс городов. Одновременно под кронами деревьев (в почве) аккумулируются значительные количества тонкодисперсных частиц, содержащих различные экотоксиканты. Так образуются локальные очаги загрязнения. Химически активные формы экотоксикантов вовлекаются в биогенный поток и древесные растения со временем засыхают.

Библиографический список

1. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кощеева И.Я. с соавт. Химические формы элементов в объектах окружающей среды и методы их определения// Известия ТСХА, 1992. Вып. 3. С. 157-170.
2. Водяницкий Ю.Н. Изучение тяжелых металлов в почвах. М.: Почвенный ин-т имени В.В. Докучаева, 2005.
3. Герасимов И.П. Элементарные почвенные процессы как основа для генетической диагностики почв // Почвоведение, 1973. С. 102-113.
4. Гречин И.П. Почвы Лесной опытной дачи ТСХА // Известия ТСХА, 1957. Вып. 1 (14).
5. Докучаев В.В. Дороже золота русский чернозем / Сост., вступ. статья и комментарии Г.В. Добровольского. М.: МГУ. 1994.
6. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: МГУ, 2001.
7. Кауричев И.С., Яшин И.М., Черников В.А. Теория и практика метода сорбционных лизиметров в экологических исследованиях. М.: МСХА, 1996.
8. Карпачевский Л.О. Лизиметрические методы оценки выноса веществ из почвы / В кн. Лес и почвы. М.: Лесная пром-сть, 1981. С. 69-75.
9. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999.
9. Полюнов Б.Б. Избранные труды. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1951.
10. Поляков А.Н., Наумов В.Д. Таксационно-лесоводственная и почвенная характеристика пробных площадей лесной опытной дачи МСХА// Известия ТСХА, 2003. Вып.3. С. 156-176.
11. Тонконогов В.Д. Глинисто-дифференцированные почвы европейской территории Союза: Автореф. дис. докт. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева. 1988.
12. Фокин А.Д. Динамическая характеристика гумусового профиля почв // Известия ТСХА, 1975. Вып. 4. С.80-88.
13. Яшин И.М. Взаимодействие гидроксида железа, препаратов гуминовых кислот и доломита с водорастворимыми органическими веществами подзолистых почв // Известия ТСХА, 1991. Вып. 5. С. 46-61.
14. Яшин И.М., Кауричев И.С. Роль низкомолекулярных органических кислот в абиогенной трансформации гумусовых веществ в почвах таежно-лесной зоны // Известия ТСХА, 1992. Вып. 5. С. 36-49.
15. Яшин И.М., Шишов Л.Л., Раскатов В.А. Водная миграция химических элементов в почвенном покрове. М.: МСХА. 2003.

16. Яшин И.М. Об эффекте «гумусовой занавески» в глееподзолистых почвах северной тайги Архангельской области // Сб. тр. Экология и почвы. Изб. лекции. Пушино. ИФХ и БП РАН, 2006. С. 327-330.

17. Florineth F.O. Pflanzen statt Beton. Skript für Vorlesung: Ingenieurbiologie. Wien, 2004.

18. Riedel W., Lange H. (Hrsg.) Landschaftsplanung. 2. Auflage. Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg — Berlin.

Рецензент — д. с.-х. н. В.А. Черников

SUMMARY

Results of investigations into environmental state, seasonal properties dynamics, transformations of substances - migration barriers in soils of the experimental piece of woodland (Timiryazev Academy) are provided in the article. Migration (water) flows of water-soluble organic matter, forms and scale of heavy metals ions migration have been described. Peculiarities of sorptive barriers current transformation and the role of both anthropogenic and natural factors in these processes have been discovered.

Key words: migration barriers, soil compounds transformation, lysimeters, soils, ions of heavy metals.

Яшин Иван Михайлович — д. б. н. Тел. 8-919-770-3496; (495)591-8218. Эл. почта: [imj_a2_005\(a\)mail.ru](mailto:imj_a2_005(a)mail.ru)

Кузнецов Петр Викторович — асп. кафедры экологии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел. 976-45-60.

Буринова Байорга Викторовна — асп. кафедры экологии РГ АУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. Тел. 976-45-60. Эл. почта: [vasenev\(a\)timacad.ru](mailto:vasenev(a)timacad.ru)