PARUS

ВЕСТНИК
Института биологии
Коми НЦ УрО РАН

Издается
с 1996 г.

№ 9 (119)

2007 – ГОД 45-ЛЕТИЯ ИНСТИТУТА БИОЛОГИИ

В номере

СТАТЬИ

2 О структуре почвенного покрова таежной зоны. **Г. Втюрин**

9 Автоморфные почвы Среднего и Южного Тимана. **Е. Жангуров, И. Забоева**

13 Биологическая активность аллювиальных лесных почв. **Е. Лаптева, Ю. Виноградова, А. Вострикова**

17 Динамика глубины протаивания и осадки поверхности почвы на площадке CALM в 1996-2006 гг. (европейский Северо-Восток). **Г. Мажитова, Д. Каверин**

21 Насыщенные углеводороды в почвах. **В. Безносиков, Б. Кондратенок, Д. Габов, И. Груздев**

26 Поведение меди в системе почва–растение на подзолистых почвах. **Г. Елькина, Л. Адамова**

29 Изучение полидисперсности гумусовых веществ методом гель-хроматографии. **Е. Лодыгин, В. Безносиков**

КОНФЕРЕНЦИИ

34 Вторая международная конференция молодых ученых по глобальному изменению окружающей среды и Открытая научная конференция по глобальным изменениям окружающей среды. **Д. Каверин**

37 XVII международное совещание Европейского Совета по учету сведений о птицах. **О. Минеев**

ИСТОРИЯ

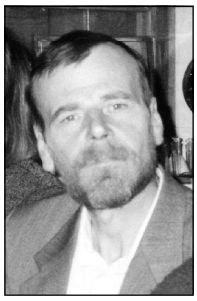
38 Памяти доктора биологических наук, научного консультанта радиобиологических исследований Коми филиала АН СССР Ирины Николаевны Верховской к 100-летию со дня рождения. **О. Попова**

40 Памяти Павла Александровича Бородкина. **О. Попова**

Главный редактор: к.б.н. А.И. Таскаев
Зам. главного редактора: д.б.н. С.В. Дегтева
Ответственный секретарь: И.В. Рапота

Редакционная коллегия: д.б.н. М.М. Долгин, д.б.н. Т.И. Евсеева, к.б.н. В.В. Елсаков, д.б.н. С.В. Загирова, к.б.н. К.С. Зайнуллина, к.х.н. Б.М. Кондратенок, к.б.н. Е.Г. Кузнецова, к.б.н. С.П. Маслова, к.б.н. С.Н. Плюснин, к.б.н. Е.А. Порошин, к.э.н. Е.Ю. Сундуков, к.б.н. И.Ф. Чадин, к.б.н. Т.П. Шубина

СТАТЬИ



О СТРУКТУРЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

к.с.-х.н. **Г. Втюрин**
с.н.с. отдела почвоведения
E-mail: vtyurin@ib.komisc.ru, тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы: *география почв*

Введение

Истоки учения о структуре почвенного покрова (СПП) заложены в трудах основоположников почвоведения В.В. Докучаева и Н.М. Сибирцева, предопределивших необходимость изучения почвенного покрова (ПП) как совокупности почвенных комбинаций (ПК), формирующихся в зависимости от конкретного сочетания факторов почвообразования и взаимообусловленных в своем развитии. При изучении ПП отдельных регионов страны и почвенно-географическом картографировании уже в начале XX в. была обоснована необходимость выделения ПК как общей закономерности в строении ПП территорий. В этой связи С.С. Неуструев [12] еще в 1915 г. предложил разделить их на две группы: комплексы (обусловленные влиянием микрорельефа) и сочетания (связанные с мезорельефом), а также подчеркнул, что ПК эволюционируют вместе с рельефом.

Наиболее важное значение в развитии учения о ПП на основе познания ПК имела первая в отечественной и мировой литературе монография В.М. Фридланда «Структура почвенного покрова» [14]. В ней изложены основные теоретические положения о СПП, систематизированы и значительно расширены причины возникновения и эволюции ПК, даны их классификация и типизация и рассмотрены основные методы изучения. Эта работа дала начало всестороннему целенаправленному изучению СПП и оформлению учения в самостоятельный раздел почвоведения. При изучении ПП основополагающее значение имеет выделение исходной элементарной его единицы, в качестве которой Фридланд ввел понятие элементарного почвенного ареала (ЭПА) как неделимого участка территории, занятого одной почвой, относящейся к классификационной единице наиболее низкого ранга и граничащей с другими ЭПА. Им разработана многоуровневая классификация СПП. Но, являясь сугубо типологической, она вызывает существенные затруднения при практической картографии СПП.

Учитывая, как и В.М. Фридланд, что основными структурообразующими факторами ПП являются литолого-геоморфологический и биологический, Я.М. Годельман [5] пришел к выводу, что элементарные структурные единицы ПП могут и должны быть привязаны именно к этим факторам. Он предложил в качестве исходной типологической и региональной единицы классификации СПП элементарный структурный ареал почвенного покрова (ЭСА), который представляет собой ареал распространения групп ЭПА или ПК, приуроченных к отдельной форме мезорельефа с четко определяемыми границами, объединяемых наличием или возможностью прямых взаимосвязей в процессе своего формирования и развития и создающих определенный пространственный рисунок. Согласно Годельману, ЭСА является понятийным и физическим индивидуумом. Множество таких индивидуумов составляет СПП и является объектом классификации СПП, подобно тому, как множество ЭПА послужило объектом классификации ПК В.М. Фридланду. Применение понятия ЭСА существенно повысило картируемость СПП. Недостатками, из-за которых она не получила распространения, оказались использование большого количества морфометрических показателей, а также подчинение зонального признака геоморфологическому.

Следующий шаг в развитии представлений о СПП связан с попыткой совмещения типологического, ландшафтного (регионального) и функционального (системного) подходов. Он предпринят В.М. Корсуновым [10, 11] с соавторами при изучении СПП Приенисейской Сибири. Приняв к использованию понятие ЭСА, они положили в основу своей классификации наличие функциональных связей между компонентами СПП, характер этих связей, их направленность и выраженность, особенности перераспределения вещества и энергии по элементам микро- и мезорельефа в пределах бассейнов водосборов. Функциональная целостность предполагает в данном случае всеобщий признак – наличие односторонне направленных потоков вещества и энергии от элементарных водосборов до бассейнов крупных рек. Этот подход назван авторами ландшафтно-типологическим. В нем выделенные ландшафты заполняются почвенным содержанием, а почвы рассматриваются как почвенно-геологические тела, эволюционирующие вместе с рельефом и ландшафтом под влиянием экзогенных и других процессов.

ЭСА в этой классификации придается роль элементарной ячейки СПП. В зависимости от сложности геоморфологических форм ЭСА теоретически могут иметь довольно простое строение и быть представлены простой, сложной ПК и даже ЭПА. Границами при выделении ЭСА служат линии раздела зон различной интенсивности и направления потоков вещества, что связано обычно с характерными линиями в рельефе – тальвегами, водоразделами, уступами террас и т.д. Каждый – каскадная система открытого типа, ячейка в каскадных системах более высокого уровня. В их 8-уровневой классификации I уровень представляют типы СПП, кото-

рые выделяются по ведущей роли одного из типов зонального почвообразования при однотипности рельефа и почвообразующих пород. II уровень определяется по преобладающему развитию тех или иных процессов литогенеза, характеру и направленности потоков вещества и энергии и представлен спектрами. При катенарной характеристике ПП различают водораздельные, склоновые, пойменно-террасовые и другие спектры. В пределах спектров выделяются формы СПП, которые представляют собой группы ПК, характеризующиеся однотипностью связей между компонентами, подобно классам В.М. Фридланда. Следующий ниже уровень семейств объединяет группы ЭСА, сходные по доминантным почвам и относящиеся к одной форме или спектру. Территориально семейства близки видам урочищ в ландшафтоведении. По процентному составу компонентов, пространственному рисунку и др. семейства подразделяются на категории, виды и разновидности. Для их характеристики требуется заложение трансект. В настоящее время предпринимаются попытки интегрировать в эту систему метод пластики рельефа, предложенный И.Н. Степановым [13 и др.], а также методы, приемы, понятия ландшафтоведения, геохимии ландшафтов и геоморфологии. В связи с этим исчерпывающее исследование СПП вследствие чрезвычайной сложности, трудоемкости и необходимости привлечения специалистов разных областей до сих пор остается скорее искусством, чем наукой. В зарубежном почвоведении сведения о СПП публикуются преимущественно в виде функциональных моделей-катен с почвенно-геоморфологическим и ландшафтным содержанием [6].

На данном этапе спектры и семейства СПП – основные таксономические картографические единицы при крупно- и среднемасштабном картографировании ПП с изображением СПП, которые мы намерены использовать при характеристике СПП моренных ландшафтов бассейнов Вычегды, Мезени, Печоры.

Структура почвенного покрова моренных равнин

Сравнительная оценка почвенного покрова (ПП) моренных равнин с холмисто-увалистым и увалистым рельефом бассейнов рек Мезень, Вычегда, Печора в пределах средней и северной тайги выполнена на уровне спектров и семейств (см. таблицу). Исследования выполнены с составлением почвенно-экологических профилей, для бассейнов Вычегды и Печоры профили дополнены ключевыми участками. Протяженность профилей составляет от 1.3 до 4.0 км. Для создания более полного представления об изучаемой территории к профилям, характеризующим сложный рельеф, приложены фрагменты гипсометрических карт-схем с указанием характерных точек. Методическую основу исследования составляют вышеназванные разработки В.М. Фридланда, Я.М. Годельмана, В.М. Корсунова с соавт.

Профиль Ертом I-II

Профиль заложен на грядово-увалистой моренной равнине. Наиболее возвышенная часть водораздела имеет грядово-холмистый рельеф, периферийная – эрозионный увалистый (рис. 1). Выделяя на профиле грядовый и увалистый типы рельефа, мы закономерно признаем наличие для каждого из них самостоятельных групп водораздельных и склоновых спектров ПП. Следует отметить, что в структурно-функциональном плане грядово-холмистая часть водораздела разделяет бассейны рек, а увалистая – ручьев, т.е. между ними существует иерархическая соподчиненность.

В пределах водораздельного спектра по составу ПП выделены два семейства. В ПП наиболее возвышенной волнисто-холмистой части водораздела преобладают топогенно-фитогенные комплексы торфянисто-подзолисто-глеевых ($Пб_{1,2}$) и глееподзолистых ($П^{г}$) почв с варьированием степени участия этих компонентов в комбинациях. Растительный покров здесь образован ельниками зеленомошно-долгомошными и березняками зеленомошными, сфагновыми и травяными на вырубках. Рубки наряду с усилением гидроморфизма привели к возрастанию мощности подстилок, поэтому торфянисто-подзолисто-глееватые почвы местами выделены даже под зеленомошным покровом. На наклонных плоских участках (ЭСА) формируются ареалы торфянисто-подзолисто-глееватых почв, а в лощинах – торфяно-подзолисто-глеевые. В результате почвенный покров отнесен к семейству сочетаний торфянисто-подзолисто-глееватых и глееподзолистых почв. Водоразделы увалов (1б) наиболее дренированы и характеризуются развитием только пятнистостей глееподзолистых почв.

Склоновый спектр представлен двумя формами: эрозионно-аккумулятивными водосборами ручьев (Па) и денудационным склоном долины реки (Пб). Профиль пересекает три водосбора в разной удаленности от водоразделов, поэтому состав ПП их различен. В истоках и на крутых склонах водосборов преобладают сочетания глееподзолистых почв с полугидроморфными. Причем полугидроморфные почвы на покатых участках водосборов представлены торфянисто-подзолисто-глееватыми, а на крутых – подзолами контактно-глееватыми на маломощных супесях, подстилаемых моренными суглинками. Среди этих подзолов даже под долгомошными лесами преобладают иллювиально-железистые с блед-

Местоположения профилей

Профиль (длина, км)	Тип рельефа, высота	Округ	Провинция
Ертом I-II (4.0)	Грядово-увалистый, 150 м	Верхнемезенский	Онежско-Тиманская
Сысольский (2.0)	Холмистый, 150 м	Сысола-Вычегодский	Онего-Двинская
Троицко-Печорский (1.3)	Увалистый, 150 м	Тиманский	Тимано-Печорская

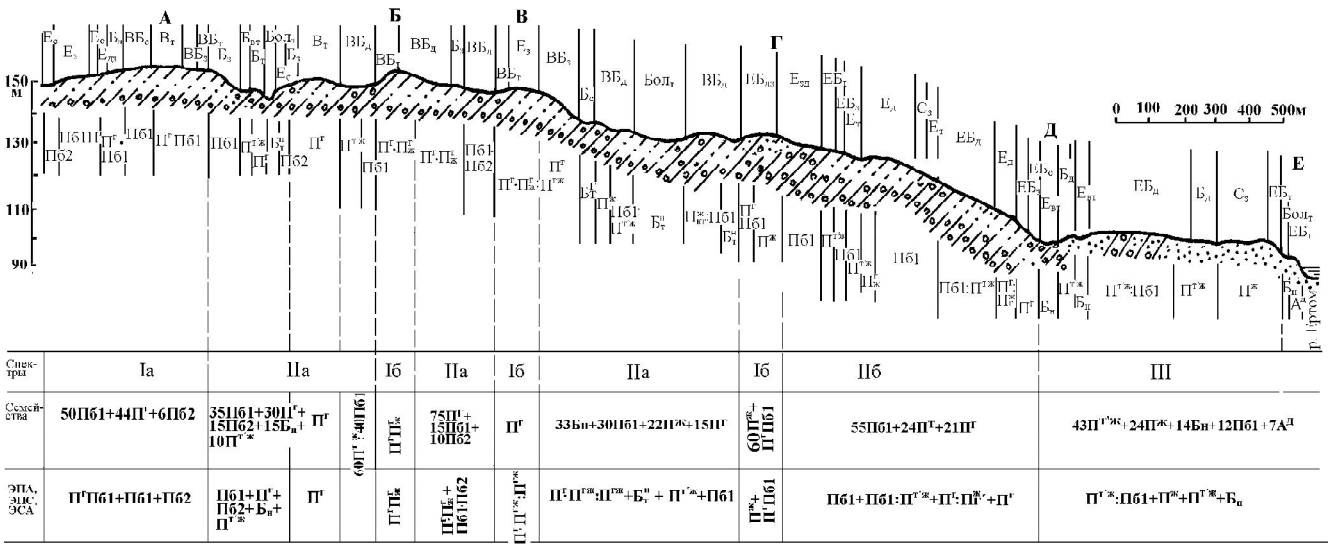


Рис. 1. Профиль Ертом I-II.

Условные обозначения. Почвообразующие породы: 1 – суглинки покровные крупнопылеватые; 2 – суглинки моренные; 3 – пески; 4 – органогенные отложения. Растительность: Б – березняки, Е – ельники, С – сосняки, ВС – то же на вырубке, Е(Б) – ельники с березой, Б(О) – березняки с осиной, С(Е) – сосняки с елью, БЕ – березово-еловые леса, БС – березово-сосновые леса, В – вырубки, ВБ – березняки по вырубкам, ОБ – осиново-березовые леса, ЕС – елово-сосновые леса, КЕ – кедрово-еловые леса, СЕ – сосново-еловые леса, ВСЕ – то же на вырубке), СБ – сосново-березовые леса, ВСБ – то же на вырубке; Бол – болото. Буквы в индексах – характеристики лесов: д – долгомошные, тд – травяно-долгомошные з – зеленомошные, к – кустарничковые, л – лишайниковые, о – осоковые, п – пушицевые, с – сфагновые, т – травяные, тд – травяно-долгомошные, вт – высокотравные, здс – зеленомошно-долгомошно-сфагновые, чб – чернично-брусничные и т.д.), хтм – хвощово-травяно-моховые.

Почвы: $П_ж$ – подзолистые иллювиально-железистые; $П^г$ – глееподзолистые обычные; $Пб_1$ – торфянисто-подзолисто-глеевые; $Пб_2$ – торфяно-подзолисто-глеевые, $Гб_1$ – торфянисто-поверхностно-глеевые дифференцированные; $Гб_2$ – торфяно-глеевые; $Б_т^г$ – болотные верховые торфяно-глеевые; $Б^г_{тп}$ – болотные низинные торфянисто-перегнойно-глеевые; $Б_{тп}^{гр}$ – болотные низинные торфянисто-перегнойно-глеевые ожелезненные; $Б_т^{он}$ – болотные торфяные остаточно-низинные (переходные); $Б_{тп}^{гр}$ – болотные торфяно-перегнойно-глеевые ожелезненные; $Б_т^в$ – болотные торфяные верховые.

но-ржавой окраской иллювиальных горизонтов. Подзолы торфянистые на крутых склонах имеют аналогичный иллювиальный горизонт, поэтому названы иллювиально-железистыми. Такая особенность подзолов может быть обусловлена двумя причинами: значительным влиянием бокового внутрипочвенного стока, а также возросшим на этом фоне увлажнением вследствие вырубки лесов. В интервале В-Г профиль большей частью проходит по дну водосбора, занятого от истока до устья болотными торфяными низинными почвами под травяным покровом. Преобладание здесь болотных почв в сочетании с болотно-подзолистыми в наименьшей степени характеризует состав ПП водосбора. Поэтому выделенные три семейства почв водосборов хотя и дают представление о неоднородности ПП в зависимости от удаленности от водоразделов, крутизны склонов и глубины эрозионного вреза, по сути представляют один спектр и должны быть объединены в одно семейство. Их индивидуальное, изолированное рассмотрение носит, прежде всего, методический характер. В целом в семействе данного эрозионно-аккумулятивного склона увалов преобладают глееподзолистые почвы с участием болотно-подзолистых и болотных.

На денудационном склоне долины реки выделяется семейство с абсолютным преобладанием полугидроморфных болотно-подзолистых почв. Вследствие пестроты почвообразующих пород оно состоит из простых сочетаний ЭПА торфянисто-подзолисто-глееватых почв с вариациями полугидроморфных подзолистых почв и подзолов. В строении денудационно-аккумулятивного пойменно-террасового спектра участвуют флювиогляциальные и древнеаллювиальные отложения. На флювиогляциальной части террасы развиты вариации подзолов иллювиально-железистых торфянистых под елово-березовым долгомошным лесом, на древнеаллювиальной – сочетания подзолов иллювиально-железистых и иллювиально-железистых торфянистых под сосняками и березняками. На пойме формируются контрастные полосчато-линзовидные сочетания аллю-

виальных дерновых и болотных почв. Во всем спектре преобладает семейство подзолов гумусо-железистых глееватых торфянистых под ельниками долгомошными. Гривистая пойма узкая и развита слабо. На пойме формируются контрастные полосчато-линзовидные сочетания аллювиальных дерновых и болотных почв. Во всем спектре преобладает семейство подзолов гумусо-железистых глееватых торфянистых под ельниками долгомошными.

Сысольский профиль

Профиль заложен на левобережье р. Сысола в пределах Великоустюгского округа среднетаежных подзолистых и болотно-подзолистых почв на моренных отложениях. Здесь на полого-волнистых междуречьях преобладают болотно-подзолистые почвы в сочетаниях и комплексах с подзолистыми и болотными. На периферии междуречий, имеющей холмисто-увалистый рельеф, доминируют подзолистые почвы на покровных и моренных суглинках. Инструментальные съемки микро- и мезорельефа и крупномасштабное почвенное картирование ключевых участков на двух холмах, часть результатов которых приведена в [4], выявили значительную сложность их поверхностей в связи с асимметричностью склонов, а также со сложностью микрорельефа, которые обусловили выделение четырех спектров ПП. Почвообразующие породы на профиле – крупнопылеватые покровные суглинки мощностью более 4 м.

Вершина холма имеет слабовыпуклую поверхность, осложненную регулярно чередующейся сетью микроповышений и понижений, среди последних обычны замкнутые формы. Микроповышения имеют размеры от нескольких метров до нескольких десятков метров. Высота повышений составляет от нескольких дециметров до 1.5 м и возрастает с уменьшением степени дренированности территории. Параллельно с этим возрастают размеры западин. Вершины и наклонные участки повышений заняты подзолистыми текстурно-дифференцированными почвами с гумусо-железисто-иллювиальным горизонтом Bhf (A2Bfh) под чернично-бруснично-зеленомошным покровом. На плоских участках вершин повышений, а также в основаниях их склонов под той же растительностью формируются подзолистые поверхностно-глееватые почвы (ПГ), которые отличаются наличием потечно-гумусового горизонта и отсутствием горизонта Bhf.

По периферии понижений под долгомошным и сфагновым покровом формируются торфянисто-подзолисто-глееватые, а в тальвегах – торфяно-подзолисто-глеевые почвы. На замкнутых бессточных участках понижений встречаются болотные торфяно-глеевые почвы. Тесная связь почв с микрорельефом, небольшие размеры ареалов, а также высокая контрастность компонентов позволяют считать, что в почвенном покрове водораздела преобладают структуры с двухсторонними внутренними связями – пятнистости и комплексы. В результате состав ПП водораздела можно представить формулой $П_г$□ П + $П_{1,2}$Б + П, или с учетом количественного соотношения компонентов – $42П_г+34Пб_{1,2}Б+24П$. Таким образом, в составе ПП водораздела 66 % составляют подзолистые почвы, большая часть которых не имеет субпрофиля подзола. Обилие в минеральной толще на глубинах от 60 до 180 см вертикально залегающих гумусированных и оторфованных жил и полос с возрастом 10800-11200 лет, а также клиновидное залегание торфа в профилях болотных почв некоторых замкнутых понижений позволяют утверждать о существенном влиянии палеокриогенеза на формирование микрорельефа, строение и состав современного ПП данного водораздела [3].

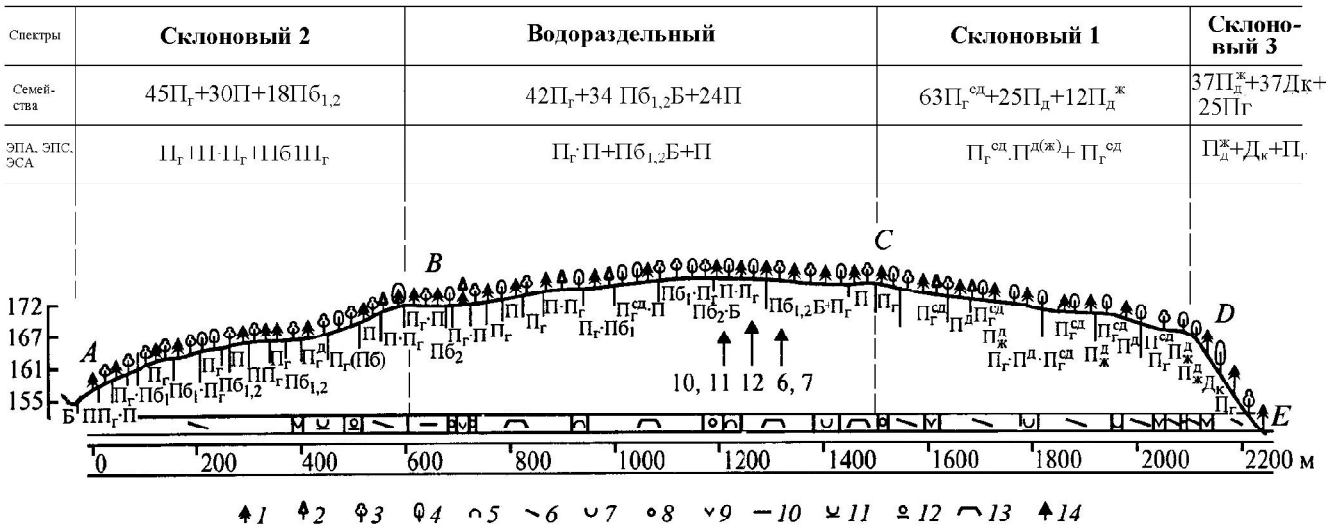


Рис. 2. Топологический профиль Сысольского ключевого участка.

Условные обозначения. Растительность: 1 – ель, 2 – пихта, 3 – береза, 4 – осина. Микрорельеф: 5 – микроводоразделы, 6 – склоны, 7 – лощины (водосборы), 8 – западины, 9 – ложбины, 10 – террасы, 11 – террасы с потяжинами, 12 – террасы с западинами, 13 – блоки, 14 – местоположение разрезов (указаны номера разрезов). Почвы: П – подзолистые обычные, $П_г$ – подзолистые поверхностно-глееватые, $П^{сд}$ – слабодерново-подзолистые, $П_г^{сд}$ — те же поверхностно-глееватые, $П^{д}$ — дерново-подзолистые, $Пж^{д}$ – те же поверхностно-глееватые, $П_ж^{д}$ – те же иллювиально-железистые, $Пб_{1,2}$ – болотно-подзолистые торфянистые и торфяные, Б – болотные, $Д_к$ – дерново-карбонатные.

Склоновый спектр 1 приурочен к покатому склону северной экспозиции. Также как и водораздел, он покрыт еловым лесом с примесью лиственных пород. Почвенный покров здесь хоть и мелкоконтурный, но менее контрастный, чем на водораздеде. В его составе преобладают подзолистые поверхностно-глееватые почвы как в форме самостоятельных ЭПА, образующих фон ПП, так и в пятнистостях с подзолистыми типичными на микроводоразделах, а также в комплексах с болотно-подзолистыми на слабоврезанных ложбинах и вогнутых участках склона. Все это позволяет характеризовать структуру ПП склона как сложное сочетание с преобладанием подзолистых почв. Состав ПП в процентах $45П_{г}+30П+18Пб_{1,2}$. Склоновый спектр 2 приурочен к пологому склону южной экспозиции. Растительный покров составляют березово-осиновые леса по вырубке возрастом около 50 лет. В напочвенном покрове преобладают зеленые мхи с примесью мелкотравья. Особенности компонентов ПП здесь связаны с признаками дернового процесса, отсутствующими в подзолистых почвах первичных лесов предыдущих спектров. Он проявляется в наличии маломощных переходных горизонтов A0A1 и/или A1A2. Почвы с такими горизонтами названы слабодерново-подзолистыми и составляют фон ПП. Почти во всех этих почвах присутствуют признаки временного поверхностного переувлажнения. На участках с крупнотравьем формируются дерново-подзолистые почвы, чаще всего с альфегумусовыми субпрофилями. Почвенный покров пологого склона также мелкоконтурный с преобладанием пятнистостей, его состав – $63П_{г}^{сд}+25П^{д}+12П^{д}_{ж}$. На крутом приречном склоне выклинивается карбонатная морена под дерново-карбонатными почвами. В сочетании почв этого склона преобладают дерново-подзолистые почвы с альфегумусовым субпрофилем.

Таким образом, в отличие от бассейна Мезени, в ПП данного холма на всех элементах рельефа преобладают микроструктуры с доминированием подзолистых почв, а ПП водораздела отличается высокой сложностью и контрастностью, обусловленной чрезвычайно развитым бугристо-западинным палеокриогенным микрорельефом.

Троицко-Печорский профиль

Троицко-Печорский ключевой участок расположен на стыке Печорской равнины и Южного Тимана в левобережье р. Печора, в 4.0 км к западу от с. Троицко-Печорск. Он включает нивелирный профиль (рис. 3), пересекающий правобережную часть долины р. Диньель, водораздельный и приречный увалы с полигонами-трансектами на каждом из них. Абсолютная высота водораздельной части профиля 150.0 м. Относительная высота водораздельного увала 3.8 м. Ложбины, оконтуривающие плоские водораздельные увалы, сливаясь, образуют овраги и балки глубиной в устьях до 40.0 м, которые формируют приречные увалы. Почвообразующие породы на водоразделе представлены крупнопылеватыми покровными суглинками мощностью около 4.0 м. На склоне долины под ними выклинивается прослойка несортированного песка с щебнем, галькой, залегающая на карбонатной тяжелосуглинистой морене оливкового цвета. На дне долины формируется толща мезотрофных торфяных отложений с древесиной, мощностью до 3.7 м. Растительный покров водораздельной части представлен ельниками кустарничково-моховыми, в депрессиях – кедрово-елово-сосновыми разреженными лесами. На вершине приречного увала формируются вторичные осиново-березовые леса, склон долины ручья занят сосняками зеленомошными. Ниже зоны выклинивания грунтовых вод склон и терраса заняты ельниками хвощево-травяно-моховыми с пятнами безлесных хвощево-осоково-сфагновых болот.

Состав ПП представлен компонентами трех типов: подзолистыми, болотно-подзолистыми, болотными. Подзолистые почвы согласно [7] относятся к северотаежному подтипу глееподзолистых и по составу горизонтов в профилях подразделяются на два рода [1, 2, 8]: глееподзолистые иллювиально-железистые (с альфегумусовым субпрофилем) и собственно глееподзолистые (без субпрофиля). Болотно-подзолистые почвы делятся на два подтипа [7, 9]: торфянисто-подзолисто-глееватые и торфяно-подзолисто-глеевые. Хотя эти почвы интразональны, здесь они имеют ряд региональных особенностей, проявляющихся в зависимости распределения ила, R_2O_3 и гумуса по профилям от положения в микрокатене. Для наиболее дренированных из них (под долгомошным покровом) характерно типичное элюви-

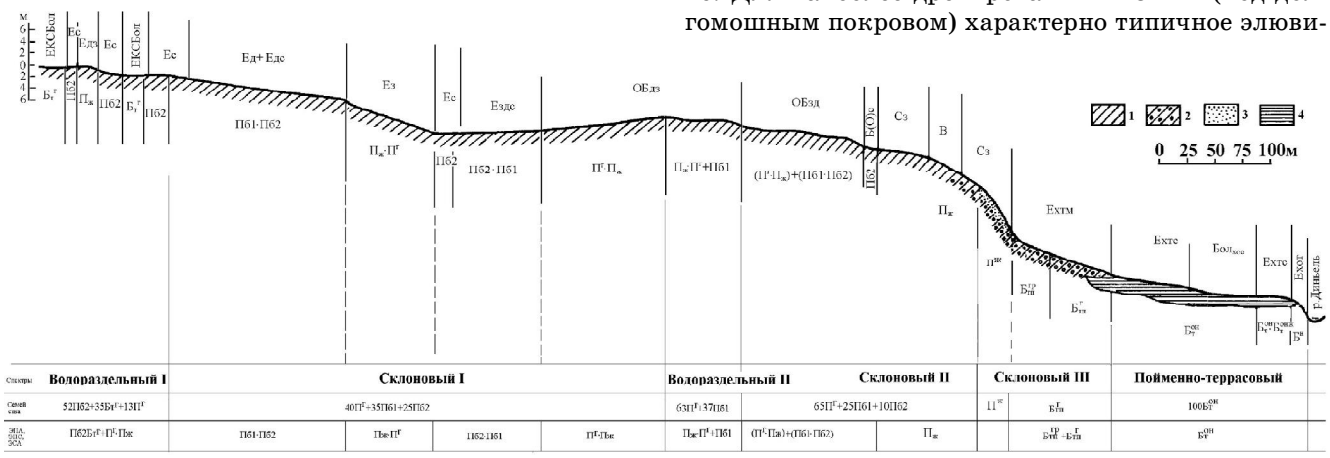


Рис. 3. Троицко-Печорский профиль. *Условные обозначения* те же, что и на рис. 1.

альное распределение. В более гидроморфных под долгомошно-сфагновым покровом распределение ила сменяется на аккумулятивно-элювиальное с накоплением ила в подподстилочном потечно-гумусовом (A2hg) и плывунном тиксотропном (A21gtx) горизонтах [2]. Таким образом, в этих почвах наиболее обезыленным оказывается не верх профиля, а его середина: надтекстурный горизонт A22g. Морфохроматически этот горизонт оглеен не сильно, обычно имеет серый цвет вследствие снятия с минералов красящих пленок и обилие конкреций. Этим почвам дано рабочее название торфянисто-глубоко-слабоподзолистых поверхностно-глеевых. На границе с болотом содержание конкреций в горизонте A22g этих почв существенно увеличивается (иногда до 30 %). Такие почвы названы контактно-оруденелыми и свидетельствуют о подтоплении водами болота прилегающей территории. Это явление позволяет классифицировать комбинацию почв депрессии и ее периферии как комплекс торфяно-глеевых и торфяно-подзолисто-глеевых почв. Болотные почвы на водоразделах представлены торфяно-глеевыми и торфяными верховыми, в долинах рек – торфяными низинными и переходными. В соответствии с количеством форм мезорельефа, пересеченных профилем, на нем выделяется пять спектров ПП – два водораздельных, два склоновых и пойменно-террасовый.

Начало профиля проходит через часть вершины увала, имеющей западинно-бугристый микрорельеф. Здесь выделяются две замкнутые округлые западины глубиной около 30 см, разделенные бугорками высотой 50 см, имеющими резкие очертания. На повышениях формируются глееподзолистые иллювиально-железистые, депрессии заняты болотными торфяно-глеевыми и торфяно-подзолисто-глеевыми почвами [2]. Плоские участки между буграми и депрессиями заняты торфяно-подзолисто-глеевыми почвами. Так как бугры и депрессии имеют небольшие размеры и регулярно чередуются, а почвы относятся к трем типам, т.е. очень контрастны по увлажнению, комбинация почв водораздела названа комплексом, в котором торфяно-подзолисто-глеевые и болотные почвы преобладают над глееподзолистыми ($40Пб_2 40Б_т^г + 20П^г$). Погребенные гумусированные пятна найдены и в почвах этого ключа, что позволяет связывать формирование бугристо-западинного микрорельефа, как и на Сысольском профиле с валдайским криогенезом. Покров склона водораздела также сложный. Склон имеет вогнутую по простиранию поверхность крутизной в среднем 1.5° с лощиной вверху, книзу переходящей в ложбину. Ведущим компонентом на фоновой поверхности склона и в западине являются торфянисто-подзолисто-глееватые и торфянисто-подзолисто-глеевые почвы под долгомошным и долгомошно-сфагновым покровом. Их различия проявляются в неодинаковых степени оглеения, распределении ила, несиликатных R_2O_3 и гумуса, вследствие чего ПП его неконтрастный и картируется как полугидроморфная пятнистость. Ареалы глееподзолистых почв края склона водораздела сливаются с ареалами склонов ложбин, оконтуривающих увал. Здесь глееподзолистые иллювиально-железистые почвы занимают выпуклые вершины микроповышений, а собственно глееподзолистые формируются на плоских участках и нижней части склонов повышений, образуя с первыми автоморфные пятнистости ($П_ж$□П). На плоском днище мезоложбины под сфагновым покровом ПП практически однородный и представлен торфяно-подзолисто-глеевыми почвами, которые сильно и на большую глубину осветлены и насыщены конкрециями.

Таким образом, мезоструктура ПП водораздельного увала представлена четырехкомпонентным сложным сочетанием, в состав которого входят подзолисто-гидроморфный комплекс водораздела, полугидроморфная пятнистость его склона, автоморфная пятнистость края этого склона и верхней части склона мезоложбины, а также полугидромофный ЭПА дна дренирующей увал ложбины. Формула этого автономно-гидроморфного сочетания: ($Пб_2 Б_т^г$) + ($Пб_1$□П) + ($П_ж$□П) + $Пб_2$.

Следующая форма мезорельефа, пересеченная профилем – приречной увал, обособленный слившимися ложбинами, оконтуривающими водораздельные увалы. Глубина эрозионного расчленения здесь возрастает до 30-40 м. Склоны увала слаборасчлененные слаботеррасированные. С приближением к реке их крутизна возрастает, дно сужается, вследствие чего ложбины к устью трансформируются в распадки или глубокие балки. Вершины приречных увалов узкие, иногда гребневидные. Так как направление профиля несколько не совпадает с осью приречного увала, на рисунке этот увал имеет выпуклую в центре форму. Низ его склона занят пятнистостью торфянисто-слабоподзолисто-глеевых и торфянисто-подзолисто-глеевых почв под мелкомозаичным зеленомошно-долгомошно-сфагновым покровом, чуть более гидроморфным чем на склоне водораздельного увала. Наблюдаемая далее более высокая покатая часть этого склона занята пятнистостями глееподзолистых почв под молодым осиново-березовым лесом. В составе пятнистости преобладают глееподзолистые почвы без субпрофиля, что отчасти связано с террасированностью склона, но представляется, что в большей степени – с влиянием возросшего увлажнения в связи с вырубкой коренного леса. В приречной первично залесенной части и на водораздельном увале при аналогичной крутизне склонов формируются или монолитные ареалы глееподзолистых иллювиально-железистых почв или пятнистости, в которых эти почвы преобладают. ПП водораздельной части приречного увала (водораздельный спектр подзолистых почв) представлен сочетанием двух пятнистостей: автоморфной и полугидроморфной. По абсолютной высоте этот увал аналогичен водораздельному, однако вершина его узкая, осложнена микроповышениями и западинами в водораздельной части, а также западинами и потяжинами, переходящими в ложбины – в периферийной. Вследствие этого строение ПП на водоразделе линейно-пятнистое. Край водораздела и крутой склон долины занят ареалом глееподзоли-

стых иллювиально-железистых почв, рассеченным ложбиной с торфянисто-подзолисто-глеевой почвой. Таким образом, в отличие от водораздельного увала, на приречном нет комплексов, а его ПП состоит из сложного подчиненно-гидроморфного сочетания пятнистостей и ЭПА: ($П^{ж}$□ $П_1$) + $П^{ж}$ + ($Пб_1^{с}$□ $Пб_1$) + $Пб_1$.

На перегибе склона долины выклиниваются грунтовые воды. Ниже этой зоны склон и надпойменная терраса заняты сочетанием-вариацией болотных торфяно-перегнойно-глеевых и торфяных остаточно-низинных почв. Лишь в прирусловой части, где есть фрагменты прирусловых валов, эти почвы образуют мелкоконтурные пятнистости. В зонах разгрузки грунтовых вод в болотных почвах наблюдается оруденение.

Выводы

1. Для почвообразования моренных равнин региона характерно сложное сочетание направлений: подзолистого, подзолисто-гидроморфного и гидроморфного органогенного направлений. Территориальный приоритет каждого из них определяется как подзональными (региональными), так и локальными факторами. На плоскохолмистых водоразделах Сысола-Вычегодского бассейна (средняя тайга) преобладают подзолистые почвы. Водораздельный спектр $П+Пб_{1,2}+Бт^{г}$ здесь представлен сложными сочетаниями пятнистостей П□ $П_1$ комплексов $Пб_1Пб_2Бт^{г}$ и ЭПА подзолистых почв в условиях бугристо-западинного палеокриогенного микрорельефа. ПП наиболее высоких осевых частей холмисто-волнистых междуречий бассейна Мезени (граница средней и северной тайги) представлен тремя семействами сочетаний торфянисто-подзолисто-глееватых почв: $Пб_1+ПГ$; $Пб_1+Пб_2+П^{г}$; $Пб_1+Пб_2$ и ЭСА $Пб_1$. В составе сочетаний преобладают фитогенные полугидроморфные комплексы $Пб_1П^{г}$ и пятнистости $Пб_1$□ $Пб_2$. В бассейне средней Печоры (северная тайга) водораздельный спектр представлен семействами $Пб_2+Бт^{г}+П^{г}$, имеющими, как и в бассейне Вычегды, пятнистое строение, обусловленное палеокриогенезом. Таким образом, по классификационной принадлежности преобладающего компонента состав почвенного покрова водоразделов междуречий имеет четко выраженный подзональный характер, а его строение зависит от положения относительно области распространения Валдайского оледенения.

2. Состав водораздельных спектров периферийных увалистых и холмисто-увалистых водоразделов существенно отличается от состава осевых частей водоразделов меньшей контрастностью и отсутствием гидроморфных комплексов. Так, на Мезенской равнине в составе ЭСА преобладают семейства, представленные ЭПА торфянисто-подзолисто-глееватых и глееподзолистых почв, встречаются линейные комплексы $П^{г}Пб_1$ и редко пятнистости $Пб_1$□ $Пб_2$. В семействах водораздельного спектра приречного увала в бассейне Печоры хотя и преобладают мезоморфные глееподзолистые почвы, однако по строению они отличаются от Мезенских и Вычегодских и приближаются к пятнистым палеокриогенным семействам почв осевых частей водоразделов бассейна Вычегды.

3. Состав семейств пологих денудационных склонов также имеет подзональные и региональные (локальные) различия. Склоновые эрозионные спектры отличаются наибольшим разнообразием семейств с преобладанием мезоморфных или полугидроморфных почв в зависимости от крутизны, расчлененности, размеров склонов и водосборов. Отличительной особенностью склонов является гранулометрическая неоднородность, обусловленная, главным образом, денудационно- и эрозионно-аккумулятивными процессами. Поэтому среди ЭПС на склонах наряду с комплексами и пятнистостями обычны вариации и мозаики суглинистых почв с контактно-оглеенными подзолами.

4. Между подзолистыми почвами бассейна Вычегды и глееподзолистыми почвами бассейнов Мезени и Печоры не выявлено существенных морфологических различий. Среди тех и других выделяются два рода: подзолистые иллювиально-железистые (с альфегумусовым субпрофилем), занимающие наиболее дренированные позиции, и подзолистые обычные или поверхностно-глееватые (без субпрофиля), образующие микрокомбинации с первыми. В то же время среди болотно-подзолистых почв бассейна Печоры выявлены компоненты с аккумулятивно-элювиальным распределением ила и R_2O_3, имеющие неопределенное классификационное положение.

5. Изученные спектры и семейства могут быть моделями и основными картографическими единицами при крупно- и среднемасштабном картографировании СПП.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Верхоланцева Л.А., Кочеткова В.Л.* Почвы северной части прибрежной зоны Печорского водохранилища // Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М.: Наука, 1970. С. 70-85.

2. *Втюрин Г.М.* Структура почвенного покрова таежной зоны Европейского северо-востока. Л.: Наука, 1991. 150 с.

3. *Втюрин Г.М.* Палеокриогенез и палеопочвообразование в таежных почвах северо-востока Европы // Криосфера Земли, 1999. Т. III, вып. 2. С. 86-96.

4. *Втюрин Г.М.* Реликтовые признаки в почвенном покрове средней тайги европейского северо-востока // Почвоведение, 2001. № 12. С. 1421-1433.

5. *Годельман Я.М.* Неоднородность почвенного покрова и использование земель. М.: Наука, 1981. 200 с.

6. *Джерард А. Дж.* Почвы и формы рельефа. Комплексное геоморфолого-почвенное исследование. Л.: Недра, 1984. 208 с.

7. *Забоева И.В.* Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.

8. *Ильина Л.П.* Почвы южной части прибрежной зоны Печорского водохранилища // Влияние водохранилищ лесной зоны на прилегающие территории. М.: Наука, 1970. С. 86-104.

9. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 224 с.

10. *Корсунов В.М., Ведрова Э.Ф., Красеха Е.Н.* Почвенный покров таежных ландшафтов Сибири. Новосибирск: Наука, 1988. 167 с.

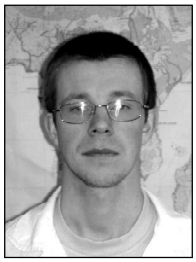
11. *Корсунов В.М., Красеха Е.Н., Ральдин Б.Б.* Методология почвенно-географических исследований и картографии почв. Улан-Удэ, 2002. 234 с.

12. *Неуструев С.С.* Генезис и география почв. М.: Наука, 1977. 328 с.

13. *Степанов И.Н.* Пространство и время в науке о почвах. Недокучаевское почвоведение. М.: Наука, 2003. 184 с.

14. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 423 с.

15. *Фридланд В.М.* Классификация структур почвенного покрова и типизация земель // Почвоведение, 1980. № 11. С. 15-17. ❖



АВТОМОРФНЫЕ ПОЧВЫ СРЕДНЕГО И ЮЖНОГО ТИМАНА

Е. Жангуров
асп. отдела почвоведения
E-mail: zhangurov@ib.komisc.ru

д.с.-х.н. **И. Забоева**
г.н.с. этого же отдела

тел. (8212) 24 52 40
Научные интересы: *география, генезис, классификация почв*

В последнее время в связи с активным освоением и разработкой месторождений бокситов, нефти и других полезных ископаемых Тимана изучение и сохранение уникальных ландшафтов этого региона требуют особого внимания. Произрастающие здесь типичные северотаежные ельники, восточноевропейская формация лиственничников, первичные березняки, луга и реликтовые флористические комплексы на выходах коренных горных пород – все это представляет ценнейшее природное образование [6]. В связи с этим исследования почв этих ландшафтов приобретают особое теоретическое и практическое значение. Цель данной работы – охарактеризовать основные типы автоморфных почв Тимана на суглинистых почвообразующих породах и определить классификационное положение в рамках «Классификации почв России» [5].

Почвенные исследования проводились в бассейне верховьев р. Вымь на Вымско-Вольской гряде (Средний Тиман, северотаежная подзона) и на возвышенности Жежимпарма (Южный Тиман, среднетаежная подзона). Основу работы составили маршрутные и ключевые исследования, проведенные совместно с д.с.-х.н. В.Д. Тонконоговым. Охвачено более 20 почвенных профилей. Разрезы закладывались на вершинах увалов и склонах дренированных водораздельных поверхностей с абсолютными высотами 250-330 м.

Район исследований Среднего Тимана находится в полосе северотаежных лесов Вычегодско-Печорской подпровинции (Тимано-Печорская почвенная провинция) [2]. В растительном покрове преобладают зеленомошные елово-березовые и елово-сосновые леса с примесью сибирских форм – пихты, лиственницы и кедра. На большей части исследованной территории Южного Тимана (возвышенность Жежимпарма) распространены зеленомошные пихтово-еловые и елово-пихтовые леса кустарничковые, травяно-кустарничковые (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. murtillus*, *Maianthemium bifolium* и др.), мелкопапоротниковые и кисличные. Много вторичных березовых и осиновых насаждений. Рельеф в основном равнинный, местами грядово-холмистый. Широко распространены пылеватые покровные суглинки – палево-бурые безвалунные макропористые лессовидные, мощностью 2-3 м. Почвообразующие породы на Среднем Тимане представлены пылеватыми суглинками мощностью 50-60 см, подстилаемыми моренными суглинками [3]. По «Классификации и диагностике почв СССР» [4] автоморфные почвы в этом регионе рассматривались как глееподзолистые, составляющие подзональный северо-таежный подтип подзолистых почв, диагностируются по сизоватому оглеенному подзолистому горизонту A_2g и более тяжелому по гранулометрическому составу с плитчато-призматической или ореховато-комковатой структурой горизонту В [3].

Нашими исследованиями выявлено в морфологическом строении этих почв наличие в срединной части профиля специфического криогенно-оструктуренного горизонта CRM с рассыпчатой комковато-ореховатой или угловато-крупитчатой структурой. В «Классификации и диагностике почв России» [5] этот горизонт выделен как криометаморфический. Размеры структурных отдельностей колеблются от 3-4 до 7-10 мм, возрастают с глубиной. Прослеживается горизонтальная делимость почвенной массы, однако плитки непрочные, рассыпаются на мелкие отдельности. Мощность CRM может варьировать в интервале 15-35 см. Формирование этого горизонта связано с характером температурного режима длительно сезонно-промерзающих почв. Под подзолистым и криометаморфическим горизонтами формируется текстурный горизонт (BT), характерный для подзолистых почв. Почвы с таким строением профиля могут быть названы светлоземами иллювиально-железистыми текстурно-дифференцированными в отделе криометаморфических почв. Разрез 2 (фото 1). 63°51′ с.ш., 52°09′ в.д. Заложен на 86-м км трассы ст. Чинья-Ворык–Тиман (Рудник). Вершина дренированного межручейного увала, равнинный слабонаклонный рельеф; абсолютная высота 190 м. Еловый лес с примесью березы, лиственницы, сосны. В подросте ель и пихта. Наземный покров мохово-кустарничковый: черника, брусника, зеленые мхи, редко хвощ.

Фото 1. Разрез 2. Светлозем иллювиально-железистый.

О 0-8 см – рыхлая серовато-коричневая торфянистая подстилка, пронизана древесными и кустарничковыми корнями, в нижней части более разложившаяся.

Е 8-13(18) см – серовато-белесая супесь, редкие корни. Структурные элементы горизонтальной делимости. Переход резкий, граница волнистая.

BF 13(18)-23 см – светло-охристая супесь – легкий суглинок, рыхлый, свежий. Структура мелкокомковато-порошистая. Переход постепенный, граница волнистая.

CRM 23-33 см – желтовато-бурый легкий суглинок, несколько уплотнен. Структура мелкоореховато-комковатая. Размеры структурных отдельностей 7-15 мм, переход постепенный по структуре и механическому составу.

CRM_2 33-48 см – более бурый средний суглинок, слабоопесчанен, уплотнен. Структура ореховато-комковатая, размеры педов 1-2 см. Слабовыраженные скелетаны, по граням структурных отдельностей кутаны.

BT_1 48-73 см – на срезе бурый с белесоватыми языками до 65 см, тяжелый опесчаненный суглинок. Структура ореховато-призматическая, призмы выражены слабо. На стенках педов отчетливо выражены кутаны.

BT_2 73-98 см – бурый тяжелый суглинок, отличается более крупной ореховато-призматической структурой. Переход постепенный.

BC 98-140 см – бурый тяжелый суглинок, бесструктурный, вязкий, плотный.

Почва: светлозем иллювиально-железистый текстурно-дифференцированный.

На возвышенных увалах при близком залегании коренных пород (300-350 м н.у.м) под разреженными еловыми лесами с чернично-зеленомошным покровом на суглинистом элюво-делювии метаморфических сланцев формируются иллювиально-гумусово-железистые подзолы (разрез 3-Ж). Под лесной подстилкой О мощностью 5-8 см развит серовато-белесый подзолистый горизонт Е 6-9 см, переход к иллювиальному горизонту четкий, граница волнистая. Весь профиль щебнистый, 50-80 % массы горизонта составляют обломки породы. Иллювиально-гумусовый процесс выражен в образовании темно-коричневых гумусовых пленок иллювиирования на нижней стороне горизонтально ориентированных плиток щебня сланцев. С глубины 30-35 см идет сплошное подстилание плитами сланцев. Эти почвы характеризуются кислой реакцией во всем почвенном профиле (табл. 1). Распределение гумуса по профилю носит элювиально-иллювиальный характер, максимальное накопление фиксируется в горизонте BF. Далее содержание гумуса постепенно падает, но в условиях близкого подстилания элюво-делювия сланцев (разрез 3-Ж.) сохраняет довольно высокие значения в мелкоземе горизонта. В.П. Фирсова и В.С. Дедков [8] считают, что в горно-лесных почвах часть органического вещества, обладая высокой подвижностью, «проскакивает» сквозь верхнюю толщу и концентрируется в мелкоземе нижней части почвы, поскольку дальнейшей миграции препятствует плитняк горной породы. Валовое содержание железа в подзолах имеет элювиально-иллювиальный профиль, формируются закрепления его в горизонты BF–BHF (табл. 2). На вершинах и пологих склонах увалов с абсолютной высотой 280 м и более на суглинистом элюво-делювии (мощностью 40-80 см) кристаллических пород основного состава (базальты) в растительном покрове зеленомошных ельников значительное место занимают травы (аконит, герань, ожика, майник, и др.). Высота ели до 20 м, в кустарничковом ярусе черника, брусника. Формирующиеся здесь почвы имеют характерное строение. Разрез 6. Координаты: 64°20′ с.ш., 51°08′ в.д., абсолютная высота 340 м.

О 0-3 см – темно-бурая оторфованная слаборазложившаяся подстилка, много корней.

Ay_{ao} 3-8 см – легкий суглинок коричневато-серый, гумусированный, мелкокомковатая структура, масса белых тонких грибных гифов, придающих горизонту белесоватую окраску. Большое количество округлых темно-бурых Fe-Mn конкреций; рыхлый, переход по цвету.

Таблица 1

Общие физико-химические характеристики почв

Горизонт	Глубина образца, см	Потеря при прокаливании, %	pH		Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	Гумус, %	Поглощенные катионы, мг-экв/100 г		Степень насыщенности основаниями, %
			вод.	сол.			Ca	Mg	
Светлозем иллювиально-железистый (разрез 2-Ж)									
O	0-8	54.3	6.0	5.8	32.1	–	8.2	2.2	21
EL	8-13	2.2	4.5	3.3	4.14	1.36	0.5	0.2	14
BF	13-20	4.5	4.7	4.1	14.5	1.32	1.2	0.6	11
CRM	23-33	3.6	4.8	4.0	15.5	0.5	2.5	0.9	18
CRM_2	33-48	3.2	4.9	3.8	15.5	0.44	5	2	31
$2BT_1$	48-73	3.9	5.0	3.6	17	0.44	5	3	32
BT_2	73-95	4.8	5.4	4.0	5.3	0.34	6	4	65
BC	100-138	3.6	6.0	4.7	3.0	0.2	5.5	4.5	77
Подзол иллювиально-гумусово железистый (разрез 3-Ж)									
O	0-8	89.8	4.5	3.1	132	–	8.1	3.1	7.8
E	8-16	4.0	4.1	2.8	17.3	2.12	0.3	0.1	2.3
BH+BF	16-30	7.0	4.5	3.7	17.3	3.19	0.0	0.0	0.05
BC	30-38	7.3	4.6	4.1	15.5	2.5	0.2	0.1	1.9
Ржавозем грубогумусированный (разрез 6-Ж)									
O	0-3	82.1	5.0	4.5	58.5	–	6.5	3.1	14
AYao	3-10	20.2	4.9	3.7	17.3	4.56	2.7	1.4	19
AYB	10-20	1.84	5.1	4.1	19.8	1.83	0.6	0.5	6
BFM	25-35	1.89	5.0	3.9	15.1	1.1	2	1	15
BFMt	40-60	1.94	5.1	4.0	14.5	0.68	3.4	1.8	23
BC	65-75	1.98	6.0	5.0	17.3	0.52	6.5	2.8	32

AYB 8-20 см – средний суглинок, коричневато-бурый, комковатой структуры, уплотнен. Редко окатанная и неокатанная галька. Переход постепенный по цвету.

BFM 20-40 см – средний суглинок, желтовато-бурый, комковатая структура. Больше обломочного материала.

BFMt 40-65 см – цвет тот же. Структура ореховатая, педы покрыты гумусово-глинистой кутаной. Переход по обилию обломочного материала.

BC 65-75 см – средний суглинок. Содержание обломочного материала (базальт) резко возрастает.

Почва: ржавозем грубогумусированный глинисто-иллювиированный.

Ржавоземам характерны: малая мощность лесной подстилки (2-4 см), отсутствие подзолистого горизонта, наличие в средней части профиля конкреций, свидетельствующих о развитии сезонных процессов оглеения. Образование отчетливо диагностируемого морфологически грубогумусового кислого горизонта AYao (механическая смесь органических остатков разной степени разложения с минеральными компонентами) во всех этих почвах с бурым профилем позволяет считать, что в данных почвах происходит медленное разложение поступающего на поверхность органического вещества при быстром его вымывании (табл.1). Цвет железисто-метаморфического горизонта BFM (от желтовато-бурых и охристых тонов до коричневато-бурых оттенков) объясняется накоплением красящих гидрооксидов железа в результате выветривания на месте богатых железом первичных минералов. Щебнистый суглинистый элюво-делювий коренных пород обеспечивает свободный дренаж и преобладание окислительных процессов. Эти почвы по «Классификации и диагностике почв СССР» [4] относились к низкогорным дерновым. В отечественной и зарубежной литературе дискутируется вопрос о генезисе и классификационном положении почв без морфологических признаков подзолистого процесса. В условиях гумидной тайги и широколиственных лесов их относили к скрытоподзолистым [7], кислым бурым лесным [10], ржавоземам [9], неоподзоленным ожелезненным [1]. Согласно «Классификации и диагностики почв России» [5], они могут быть идентифицированы как ржавоземы грубогумусированные (фото 2). Валовой состав ржавоземов выявляет слабую дифференциацию профиля, обусловленную литологическими особенностями подстилающей породы (табл. 2). Профильное содержание валового Fe_2O_3 и Al_2O_3 не выявляет четкого иллювиального максимума. Почвы характеризуются низкой емкостью поглощения.

Таблица 2

Валовой химический состав почв, % на прокаленную почву

Горизонт	Глубина образца, см	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2
Светлозем иллювиально-железистый (разрез 2-Ж)									
EL	8-13	86.9	1.75	6.06	0.25	0.11	1.26	1.00	0.42
BF	13-20	79.1	3.01	9.65	0.28	0.53	1.48	0.90	0.50
CRM	23-33	79.8	2.98	9.71	0.27	0.67	1.56	0.84	0.52
CRM2	33-48	78.0	3.39	10.94	0.32	0.87	1.76	0.86	0.58
$2BT_1$	48-73	71.4	4.63	14.48	0.43	1.28	2.16	0.81	0.75
BT_2	73-95	69.4	4.91	14.70	0.75	1.41	2.29	0.79	0.75
BC	100-138	71.5	4.60	13.87	0.86	1.43	2.29	0.86	0.73
Подзол иллювиально-железистый (разрез 3-Ж)									
E	8 -16	81.8	1.8	8.6	0.12	0.21	1.68	0.75	0.81
BHF+BF	16-30	68.9	4.50	14.56	0.14	0.63	2.52	0.69	0.76
BC	30-38	66.4	5.35	15.5	0.15	0.85	2.68	0.80	0.79
Ржавозем грубогумусированный (разрез 6-Ж)									
AYao	3-10	–	–	–	–	–	–	–	–
AYB	10-20	75.60	4.38	11.02	0.48	0.71	1.63	0.89	0.79
BFM	25-35	75.3	4.36	11.48	0.65	1.11	1.59	0.88	0.74
BFMt	40-60	75.20	4.35	11.88	0.70	1.20	1.65	0.89	0.73
BC	65-75	77.0	4.73	9.97	0.73	1.26	1.53	0.85	0.73
Палево-подзолистая криометаморфизованная (разрез 16-Ж)									
EL	7-12	78.30	1.28	6.21	0.31	0.31	1.26	1.02	0.52
ELf	15-25	81.90	2.75	11.20	0.41	0.84	2.05	1.80	0.88
CRM	30-40	76.50	2.97	10.30	0.33	0.98	1.84	1.30	0.74
BEL	40-50	70.70	5.11	13.70	0.50	1.51	2.38	1.45	1.01
BT1	60-70	69.80	4.15	14.18	0.60	1.40	1.89	1.21	0.78
BT2	75-95	67.80	4.91	14.55	0.76	1.88	1.96	1.33	0.89
BC	11-120	69.20	5.0	13.73	0.77	1.80	2.07	1.23	0.90

На вершинах Южного Тимана, покрытых крупнопылеватыми суглинками, под березово-еловыми лесами с примесью пихты с чернично-зеленомошным покровом формируются палево-подзолистые криометаморфизованные почвы. Разрез 16-Ж (фото 3). Абсолютная высота 240 м. Березово-еловый лес, в покрове зеленые мхи, черника, майник, седмичник, толокнянка, хвощ лесной, редко пятна долгомошника.

O 0-7 см – подстилка темно-коричневая, оторфованная плохо разложившаяся, много корней.

EL 7-12 см – серовато-белесый, крупнопылеватый-легкосуглинистый. Структура непрочная листоватая, рыхлый. Переход по цвету.

El_f 12-30 см – пылеватый легкий суглинок, палевый, с серовато-белесыми пятнами, плотнее предыдущего. Структура тонкоплитчатая. Много черно-бурых рыхлых Fe-Mn конкреций (до 3 мм). К низу возрастает плотность, переход по цвету.

CRM_t 30-40 см – средний суглинок, палево-бурый, уплотнен, структура мелкоореховатая, пористый. На поверхности педов тонкие кутаны, конкреций меньше. К низу возрастает плотность.

BEL 40-53 см – тяжелый суглинок, бурый с тонкими белесоватыми языками, чередование осветленных и бурых пятен, коричневые кутаны перекрыты светлой кремнеземистой скелетаной. Плотный, ореховатой структуры. Корни до 3 мм, переход по цвету и структуре.

BT_1 53-72 см – тяжелый суглинок, бурый, хорошо выражена ореховато-призматическая структура: призмы раскалываются на плитки, образуя ореховатые отдельности. Плотный, тонкие трещины покрыты тонкой скелетаной, переход постепенный.

BT_2 72-95 см – тяжелый суглинок, бурый, структура выражена слабо.

BC9 5-140 см – глина, бурая, бесструктурная, плотная.

Bcg 140 см – глина, бурая, ржавые и сизые пятна оглеения.

Почва: палево-подзолистая криометаморфизованная.

Особенностью рассматриваемой почвы является наличие в субэлювиальном горизонте (BEL) светлых скелетан на стенках вертикальных трещин, а также тонких языков светлого и облегченного по гранулометрическому составу материала, внедряющегося в верхнюю часть текстурного гори-

Фото 2. Разрез 6. Ржавозем грубогумусированный.

зонта (BT_1). Формирование данного субэлювиального горизонта (BEL) можно определить как признак разрушения или деградации верхней части текстурного горизонта или сформированного в нем текстурного горизонта в результате элювиального процесса.

По гранулометрическому составу (табл. 3) палево-подзолистые криометаморфизованные почвы развиты на крупнопылеватых тяжелых суглинках, характерно резкое обеднение верхних горизонтов илистой фракцией. Такое строение профиля и незначительная мощность криометаморфического горизонта, возможно, также связано с литологическими особенностями почвообразующей породы. В валовом составе палево-подзолистых криометаморфизованных почв выявляется характерное для подзолистых почв обеднение верхних горизонтов полуторными оксидами и относительное накопление SiO_2, отчасти обязанные первичной облегченности верхнего почвообразующего наноса. Элювиальные процессы, преобладающие в верхней части почвы и субэлювиальном горизонте (BEL), сменяются иллювиированием ила и валовых полуторных оксидов в текстурном горизонте тяжелой части профиля (табл. 2, 3). По «Классификации и диагностике почв России» [5] эти почвы получают наибольшее развитие преимущественно в южной части средней тайги европейской России как на однородных пылеватых суглинках, так и на двучленных отложениях.

Таблица 3

Гранулометрический состав палево-подзолистой криометаморфизованной почвы (разрез 16-Ж)

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						Сумма частиц <0.01
		1.00-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.010-0.005	0.005-0.001	<0.001	
EL	7-12	0	5	65	7	10	12	29
Elf	12-25	1	10	61	6	12	10	28
CRMt	30-40	1	19	42	6	11	21	38
BEL	40-50	0	15	42	1	9	33	43
BT1	60-70	0	6	42	6	10	35	51
BT2	75-95	0	29	20	6	11	35	52
BC	110-120	1	10	31	8	10	40	58
BC	140-150	1	21	24	9	8	36	54

Фото 3. Разрез 16-Ж. Палево-подзолистая криометаморфизованная.

Таким образом, на основании анализа морфологического строения исследованных почв выделяются две группы почв, развивающихся в автоморфных условиях Среднего и Южного Тимана.

Светлоземы иллювиально-железистые и палево-подзолистые криометаморфизованные почвы: отличаются характером срединного горизонта, важного для классификационного индексирования почв. Эти почвы являются генетически близкими образованиями – их сходство заключается в строении и генезисе верхней части профиля, наиболее чутко реагирующей на экологические условия. Формирование диагностического криометаморфического горизонта CRM мы связываем с криогенным структурным метаморфизмом почвенной массы.

На элюво-делювии кристаллических пород основного состава (базальты) развиваются почвы, именуемые ржавоземами, формирование которых связано с преобладанием литогенного составляющего в почвообразовании.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гагарина Э.И.*, *Матинян Н.Н.*, *Счастная Л.С.* Вопросы генезиса и классификации песчаных почв северо-запада РСФСР // Вестн. ЛГУ, 1981. Вып. 2. С. 15-20.

2. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

3. *Забоева И.В.*, *Казаков В.Г.* Почвы Тимана. Сыктывкар, 2000. 50 с. – (Рукопись. Отдел почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН).

4. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 223 с.

5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004. 343 с.

6. *Непомилуева Н.И.* О сохранении таежных ландшафтов на европейском Северо-Востоке // Бот. журн., 1981. Т. 66, № 11. С. 1616-1622.

7. *Пономарева В.В.* Теория подзолообразовательного процесса. Биохимические аспекты. М., 1964. 320 с.

8. *Фирсова В.П.*, *Дедков В.С.* Почвы высоких широт горного Урала. Свердловск, 1983. 95 с.

9. *Фридланд В.М.* Ржавоземы // Почвы и их биологическая продуктивность. Тарту, 1979. С. 52-60.

10. *Duchaufour Ph.*, *Souchier B.* Roles of iron and clay in genesis of acid soil under a humed temperature climate // Geoderma, 1978. Vol. 20, № 1. P. 39-41. ❖

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

к.б.н. **Е. Лаптева**
зав. отделом почвоведения
E-mail: lapteva@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы: *пойменное почвообразование, гумусообразование, биология почв*

Ю. Виноградова
м.н.с. этого же отдела
E-mail: vinograd@ib.komisc.ru

Научные интересы: *почвенная микробиология, функционирование почвенных микроорганизмов*

А. Вострикова
асп. Сыктывкарского государственного университета

Научные интересы: *микробиология*

Трудами В.В. Докучаева [8] обосновано положение о том, что почва представляет собой не просто рыхлые продукты разрушения горных пород, а является особым природным телом, особой системой, в которой все факторы – климат, рельеф местности, растительные и животные организмы, материнская порода – равноправные участники процессов почвообразования. Наиболее важный почвообразующий фактор – живое население почвы, главным образом, растительность и микроорганизмы [1, 14]. Их жизнедеятельность обусловливает биологическую активность почв (БАП), под которой понимают совокупность биологических процессов, протекающих в почве [16] и оцениваемых на основе нескольких биологических и биохимических показателей [2]. БАП – это комплексная характеристика, основанная на оценке активности, количественного и качественного состава микроорганизмов, а также активности ферментов почвы [6, 9, 13]. Цель данной работы заключалась в изучении сезонной динамики ферментативной активности аллювиальных почв, формирующихся под пологом пойменных лесов в таежной зоне Республики Коми.

Исследования проводили в летне-осенний период 2003-2004 гг. в лиственном лесном массиве, расположенном в центральной части левобережной пойменной террасы р. Сысола. Для проведения исследования были выбраны почвы, относящиеся к основным типам аллювиальных почв – дерновая (вершина гривы), луговая (выровненный участок поймы) и лугово-болотная (межгривное понижение) [11]. Учитывая специфику формирования данных почв под пологом лесной растительности, при диагностике и классификации почв ключевых участков нами была учтена классификация пойменных почв, предложенная Г.В. Добровольским [7], который считает необходимым выделять почвы, формирующиеся под пологом пойменных лесов в отдельные группы типов, добавляя к типовому названию слово «лесная». Таким образом, на вершине гривы представлена аллювиальная дерново-лесная почва, на выровненном участке поймы – лугово-лесная почва, в межгривном понижении – лугово-болотная лесная почва. Данные почвы образуют естественный ряд по степени нарастания увлажнения, что позволяет использовать их для выявления связи степени гидроморфизма аллювиальных почв, формирующихся под древесно-кустарниковой растительностью, с функциональной структурой и особенностями жизнедеятельности почвенной микробиоты.

Отбор почвенных проб проводили из лесных подстилок (горизонт А0, глубина 0-3 см) и гумусоаккумулятивных (горизонт АI, глубина 3-15 см) горизонтов аллювиальных почв. Пробы отбирали ежемесячно с июня по сентябрь в третьей декаде месяца. Каждый образец был составлен из 4-5 индивидуальных почвенных проб, отобранных из прикопок, заложенных методом конверта на выбранном участке рельефа поймы площадью 1.5×1.5 м^2. Целлюлозолитическую активность почв определяли аппликационным методом в модификации Т.В. Кулаковской [12], инвертазную – по учету восстанавливающих сахаров [13], каталазную – перманганатометрическим методом Кацнельсона и Ершова [10], pH водных вытяжек – потенциометрически, содержание углерода водорастворимых органических веществ – бихроматным методом Тюрина после упаривания аликвоты водной вытяжки.

Двухлетние исследования, проведенные в пойме р. Сысола, показали, что аллювиальные почвы, формирующиеся под пологом лесной растительности в подзоне средней тайги, характеризуются низкой активностью инвертазы. Во всех типах аллювиальных лесных почв она не превышает 15 мг глюкозы/г почвы за 24 часа. Инвертазная активность варьирует как в течение сезона, так и по годам наблюдений (рис. 1, I). Ее динамика существенно различается по годам наблюдений. Например, в 2003 г., июнь месяц которого был холоднее обычного на два градуса с избыточным количеством осадков, во все сроки отбора максимум инвертазной активности как в органогенных, так и в минеральных горизонтах приходился на участок поймы с лугово-лесной почвой. Для этой почвы отмечено статистически достоверное превышение значений активности инвертазы по сравнению с аналогичными горизонтами дерново-лесной и лугово-болотной лесной почв (исключением являются гумусоаккумулятивные горизонты в первый срок отбора). Во всех почвах отмечено либо статистически достоверное (горизонты А0 и А1 дерново-лесной почвы, горизонты А1 лугово-лесной и лугово-болотной лесной почв) снижение инвертазной активности в осенний период, либо тенденция (горизонт А0 лугово-лесной почвы) к ее снижению.

В 2004 г., характеризующемся более теплой по сравнению с 2003 г. первой половиной лета, достоверные различия в активности инвертазы между различными типами почв прослеживаются только в отдельные сроки наблюдений. Во всех типах почв в органогенных горизонтах наблюдается всплеск ферментативной активности в первой половине лета с последующим ее снижением к осеннему периоду (рис. 1, I). В гумусоаккумулятивных горизонтах всех трех типов почв в течение вегетационного периода ферментативная активность находилась практически на одном уровне, за исключением дерново-лесной почвы, для которой в конце сентября отмечено резкое снижение инвертазной активности до 0.18 мг глюкозы/г почвы.

В 2004 г. не было выявлено такого четко выраженного лидирования какого-либо типа почвы по активности инвертазы, как это было в 2003 г. Причем более высокие показатели инвертазной активности в дерново-лесной почве в первый срок отбора (июнь) по сравнению с 2003 г. по всей видимости, связаны с особенностями паводкового режима. В 2004 г. паводок был поздний, полые воды стояли в межгривных понижениях вплоть до конца июня, что обусловило достаточное количество влаги в почвах дернового типа и соответственно более высокую активность инвертазы, поскольку данный фермент относится к классу гидролаз.

Показатели инвертазной активности наиболее стабильны в течение вегетационного периода в лугово-лесной почве. Коэффициенты варьирования составили для органогенного и минерального горизонтов данной почвы соответственно 44 и 30 %. В почвах дернового и болотного типов размах в параметрах инвертазной активности характеризуется значительно более высокими показателями коэффициента вариации, обусловленными значительной динамичностью биохимических процессов в этих типах аллювиальных почв. Благодаря оптимизации условий увлажнения их верхних горизонтов при благоприятных погодных условиях и в сочетании с поздним паводковым режимом (как это было в 2004 г.), в этих почвах наблюдается резкий всплеск активности инвертазы в первой половине летнего периода, уровень которой совпадает с лугово-лесной почвой. При неблагоприятных условиях (дефицит влаги в почвах дернового типа, ее избыток в почвах болотного типа) наиболее активно процессы углеводного обмена протекают в почвах лугового типа, то есть в аллювиальных почвах, занимающих на пойменных террасах рек промежуточное положение по условиям увлажнения.

Активность каталазы в аллювиальных лесных почвах долины р. Сысола варьирует от десятых долей до 6-9 мл O_2 на 1 г почвы за 1 минуту. Причем органогенные и гумусоаккумулятивные горизонты полу- и гидроморфных аллювиальных почв (т.е. лугово-лесных и лугово-болотных лесных) в среднем характеризуются бедным и очень бедным уровнем каталазной активности, но в отдельные сроки вегетационного периода содержание каталазы в лесных подстилках обеих почв может достигать средней обеспеченности. В этом отношении дерново-лесная почва, формирующаяся на вершине гривы в условиях дефицита влаги и, следовательно, активной аэрации почвенного профиля, занимает несколько особое положение. Ее гумусоаккумулятивный горизонт по уровню каталазы соответствует двум другим почвам, однако горизонт лесной подстилки в среднем, по данным двух лет наблюдений, соответствует средней обеспеченности каталазой. Согласно результатам однофакторного дисперсионного анализа достоверное для 5%-ного уровня значимости различие выявлено только при сравнении уровня каталазной активности горизонтов дерново-лесной почвы. В аллювиальных полу- и гидроморфных почвах разница в каталазной активности органогенных и минеральных горизонтах статистически незначима.

Сезонная динамика каталазной активности в аллювиальных лесных почвах существенно различается по годам наблюдений (рис. 1, II). Например, в 2003 г. во все сроки отбора выраженной каталазной активностью характеризовались лесные подстилки дерново-лесной почвы, занимающей вершины грив. Причем ее пик приходился на август, характеризовавшийся аномально жаркой погодой со среднемноголетним количеством осадков. В июле и сентябре в этом типе почвы наблюдался спад в каталазной активности.

В лугово-лесной почве в первой половине вегетационного периода по активности на первом месте находился гумусоакумулятивный горизонт, а во второй половине – лесная подстилка. В наиболее гидроморфной лугово-болотной лесной почве в июне каталазная активность практически приближалась к нулю (0.09 мл O_2 на 1 г почвы за 1 минуту в гор. А0, 0.009 – в гор. А1). К июлю она кратно возросла в обоих горизонтах (соответственно 2.06 и 1.25 мл O_2) с преобладанием в лесной подстилке, а во второй половине лета на первое место по каталазной активности вышел минеральный гумусоаккумулятивный горизонт, в то время как в лесной подстилке произошел спад каталазной активности.

В 2004 г. наблюдалась прямо противоположная картина. Все почвы характеризовались резким подъемом каталазной активности как в органогенных, так и в минеральных горизонтах в июле (в оба срока отбора), ее снижением в прохладном с избыточным количеством осадков августе и некоторым возрастанием в теплом с недобором осадков сентябре. Причем поздний паводок, по-видимому, обусловил наличие восстановительных условий в почвах дернового и лугового типа в июне, в связи с чем в первый срок отбора в этих почвах уровень каталазной активности был в несколько раз меньше по сравнению с 2003 г. Следует обратить внимание на тот факт, что в гумусоаккумулятивных горизонтах исследованных почв наблюдалось снижение каталазной активности во второй половине вегетационного периода 2004 г. по мере перехода от вершин грив к межгривным понижениям. В лесных подстилках

такая четко выраженная закономерность отсутствовала. Это свидетельствует о том, что лесные подстилки полу- и гидроморфных почв являются значительно более динамичными по окислительно-восстановительным условиям, что связано с активным их иссушением при благоприятных погодных условиях, снижением уровня почвенно-грунтовых вод, а также активизацией в них жизнедеятельности аэробной микробиоты, с которой многие авторы связывают каталитическую активность почв [3, 15].

В последнее время для оценки биологической активности почв все чаще применяют интегральные показатели БАП [3-5]. Это обусловлено тем, что довольно сложно выявить различия в уровне биохимической активности почв по данным анализа даже с использованием комплекса ферментов. Вы-

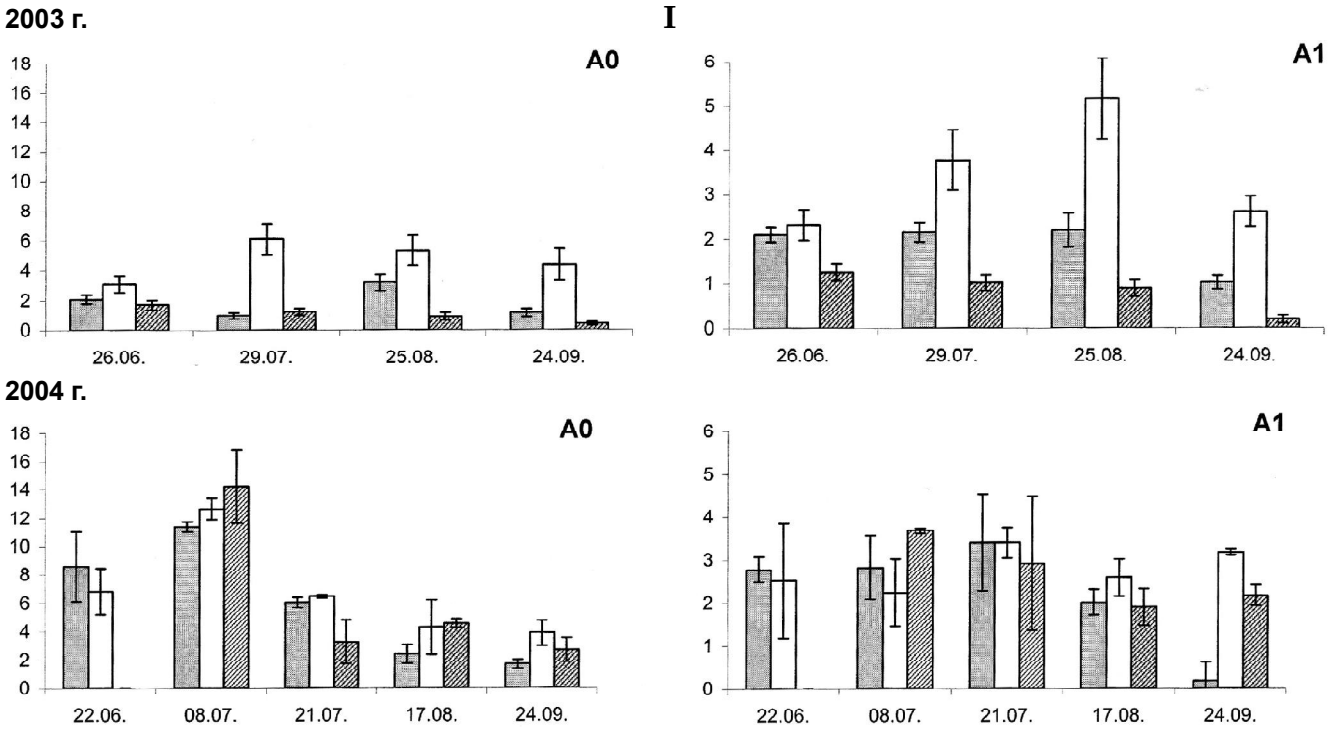
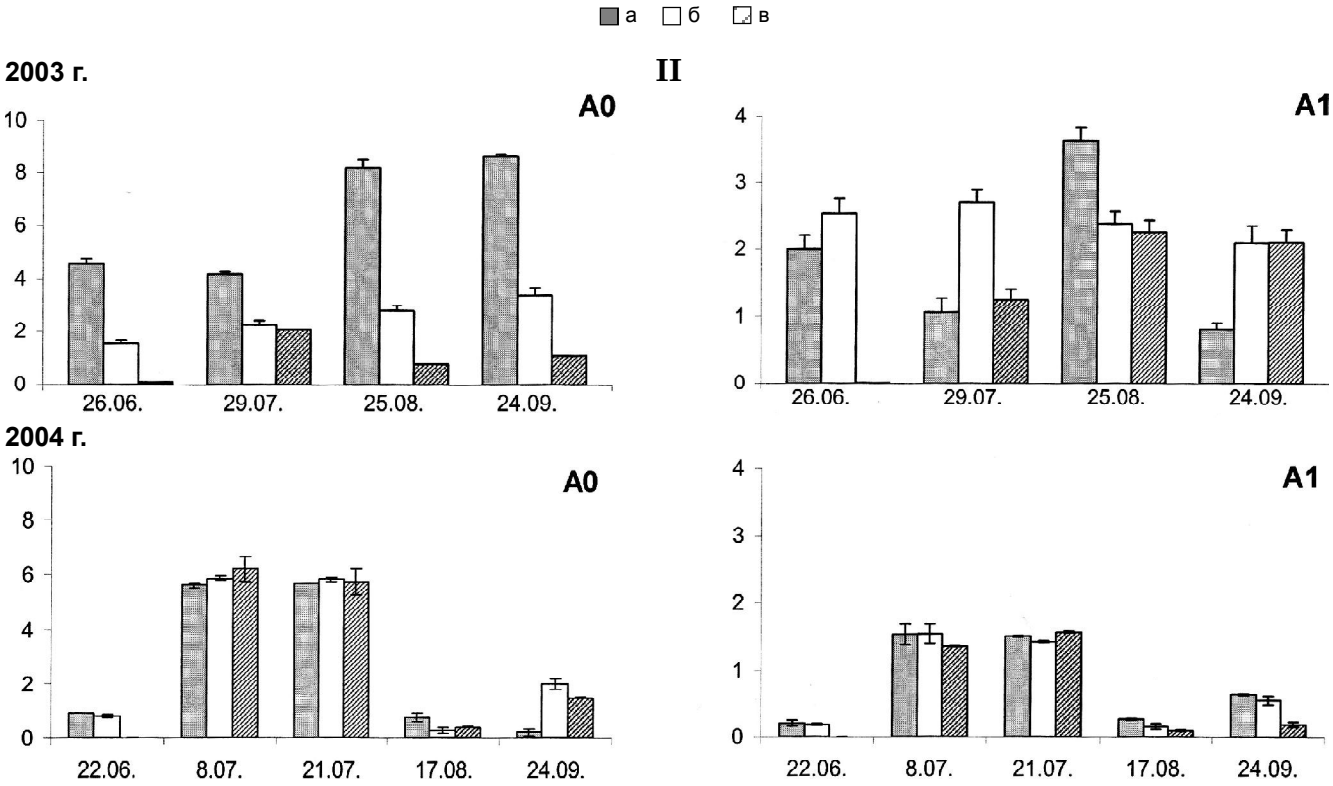


Рис. 1. Инвертазная (I; мг глюкозы/г почвы за 24 ч) и каталазная (II; мл O_2/г почвы за 1 мин.) в лесных подстилках (А0) и гумусоаккумулятивных (А1) горизонтах аллювиальных дерново-лесных (а), лугово-лесных (б) и лугово-болотных лесных (в) почв долины р. Сысола. *По горизонтали*: дата наблюдений.



раженная сезонная динамика ферментативной активности и ее связь с окислительно-восстановительными условиями и гидротермическим режимом почв зачастую затрудняют интерпретацию получаемых результатов. Поэтому предлагаются варианты расчета комплексных, интегральных показателей БАП с учетом различных параметров биохимической активности. В частности, Ю.Г. Гельцер с соавторами [5] предложил интегральный коэффициент БАП, в котором учитываются как биотические показатели, так и абиотические параметры почв. Из последних авторы считают необходимым учитывать такие показатели почв, которые оказывают влияние на жизнедеятельность почвенной биоты. Этот интегральный коэффициент БАП, согласно рекомендациям вышеуказанных авторов, рассчитывается по формуле:

$$К = [(п_1+п_2+п_3 + ... + п_j)\cdot H]/(Zs\cdot n),$$

где К – интегральный коэффициент БАП; $п_1$ – количество аминокислот и белков, мкг/г ткани; $п_2$ – целлюлазная активность, %; $п_3$ – протеазная активность, %; H – содержание гумуса, %; Zs – суммарное содержание солей, %; n – число используемых показателей.

Авторы отмечают, что при необходимости количество параметров, вводимых в формулу расчета, можно дополнять и изменять. В соответствии с этим, при использовании данного показателя, мы, учитывая тот факт, что аллювиальные почвы таежной зоны не засолены, но характеризуются повышенной кислотностью, несколько видоизменили данную формулу. Мы ввели в числитель величину pH водных вытяжек, удалив показатель засоленности Zs из знаменателя, заменили величину содержания гумуса содержанием углерода водорастворимых органических соединений, т.е. тех соединений, которые в первую очередь используются микробиотой и характеризуют наличие для нее доступных энергетических веществ. Из биохимических показателей были учтены инвертазная, каталазная и целлюлазная активности.

В результате при использовании интегрального показателя БАП установлено следующее. В первой половине летнего периода наиболее активно биологические процессы протекают в почвах полугидроморфного типа (рис. 2), т.е. в аллювиальных лугово-лесных почвах, занимающих промежуточное положение по условиям гидротермического режима в исследованном ряду почв.

Во второй половине вегетационного периода наблюдается возрастание БАП, наиболее ярко проявляющееся в полу- и гидроморфных почвах, т.е. в лугово-лесных и лугово-болотных лесных. Такой всплеск биологической активности обусловливает активную минерализацию свежего растительного опада во всех типах аллювиальных почв, формирующихся под пологом пойменных лесов в долинах рек таежной зоны и, следовательно, приводит к снижению скорости процессов торфообразования и торфонакопления в почвах глубоких межгривных понижений центральной части пойменной террасы. Последнее проявляется в отсутствии мощных оторфованных подстилок в почвах полу- и гидроморфного типа.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что биохимическая активность аллювиальных лесных почв таежной зоны низкая. Аллювиальные лесные почвы характеризуются выраженной сезонной динамикой ферментативной активности, которая в первую очередь определяется погодными условиями года. Расчет интегрального показателя биологической активности почв свидетельствует об активном протекании биологических процессов в первой половине летнего периода в полугидроморфных почвах, занимающих промежуточное положение по условиям гидротермического режима в исследованном ряду почв, а во второй половине вегетационного периода – в почвах полу- и гидроморфного типа.

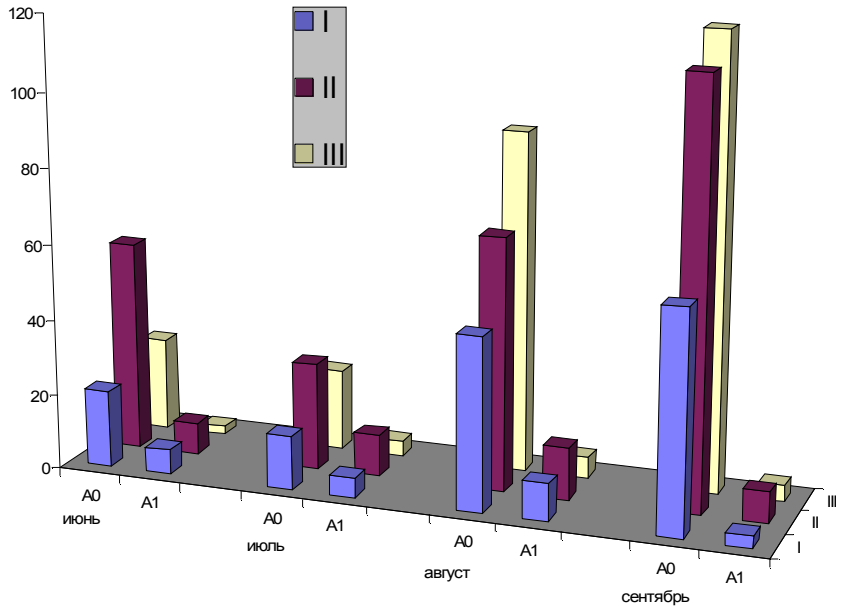


Рис. 2. Интегральный показатель биологической активности почв в аллювиальных дерново-лесных (I), лугово-лесных (II) и лугово-болотных лесных (III) почвах долины р. Сысола (по данным 2004 г.). *Остальные* обозначения те же, что и на рис. 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 230 с.

2. *Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.

3. Биологические особенности локально-гидроморфных почв Ростовской области / *К.Ш. Казеев, С.Е. Фомин, С.И. Колесников* и др. // Почвоведение, 2004. № 3. С. 361-372.

4. *Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Методология исследования биологической активности почв на примере Северного Кавказа // Научная мысль Кавказа, 1999. № 1. С. 32-37.

5. *Гельцер Ю.Г., Можарова Н.В., Волкова Э.В.* Применение интегральных показателей биологической активности почв при крупномасштабном почвенно-экологическом картировании // Микроорганизмы в сельском хозяйстве. Пущино, 1992. С. 37-38.

6. *Гельцер Ю.Г.* Показатели биологической активности в почвенных исследованиях // Почвоведение, 1990. № 9. С. 47-59.

7. *Добровольский Г.В.* Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во МГУ. 1968, 296 с.

8. *Докучаев В.В.* Дороже золота русский чернозем. М.: Изд-во МГУ, 1994. 544 с.

9. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение, 1978. № 6. С. 48-54.

10. *Кацнельсон Р.С., Ершов В.В.* Исследования микрофлоры целинных и окультуренных почв Карельской АССР // Микробиология, 1958. № 27, вып. 1. С. 82-88.

11. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 223 с.

12. *Кулаковская Т.В.* Интенсивность разложения клетчатки как метод изучения биологической активности почвы и его усовершенствование // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: Матер. II съезда белорусского об-ва почвоведов. Минск, 2001. Кн. 1. С. 125-126.

13. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1980. 224 с.

14. *Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Гумус и почвообразование Л.: Наука, 1980. 222 с.

15. *Семиколенных А.А.* Каталазная активность почв северной тайги (Архангельская область) // Почвоведение, 2001. № 1. С. 90-96.

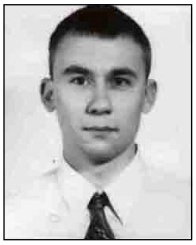
16. *Снакин В.В.* Экология и охрана природы / Под ред. А.Л. Яншина. М.: Academia, 2000. 384 с.

❖

ДИНАМИКА ГЛУБИНЫ ПРОТАИВАНИЯ И ОСАДКИ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ НА ПЛОЩАДКЕ CALM В 1996-2006 гг. (ЕВРОПЕЙСКИЙ СЕВЕРО-ВОСТОК)

к.г.н. **Г. Мажитова**
с.н.с. отдела почвоведения
E-mail: galina_m@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15

к.г.н. **Д. Каверин**
н.с. этого же отдела
E-mail: kaverin@ib.komisc.ru



Научные интересы: *генезис и география почв, мерзлотоведение*

Отчеты Межправительственной группы экспертов по изменению климата при ООН, например IPCC WGI Fourth Assessment Report [8], и многочисленные публикации, например [2, 5], убедительно доказывают потепление климата на планете, особенно сильное в Арктике. Одно из опасных последствий потепления и деградации многолетней мерзлоты – термокарст, включающий многолетнюю осадку поверхности грунта. Циркумполярный мониторинг деятельного слоя многолетнемерзлых грунтов (CALM) проводится с целью выявления трендов изменения мощности деятельного слоя многолетнемерзлых грунтов на фоне происходящего потепления и анализа связей этих трендов с климатическими показателями, что необходимо для моделирования динамики деятельного (сезонно-талого) слоя в разных масштабах [7]. В рамках CALM на многих площадках проводится мониторинг осадки, что позволяет оценивать не только мощность деятельного слоя, но и величину понижения абсолютных высотных отметок кровли многолетней мерзлоты. Ежегодное картирование осадки дает важную, в частности для почвоведов, информацию о динамике микрорельефа поверхности, скорости обновления почвенного профиля и состоянии надмерзлотных горизонтов почвы. Результаты наблюдений на площадках CALM не могут впрямую использоваться при моделировании глубины сезонно-талого слоя (далее СТС) в глобальном и региональном масштабах ввиду малого размера площадки по сравнению с пространственной ячейкой модели. Однако, при стохастическом моделировании, прогнозирующем вероятность встретить ту или иную глубину СТС, они могут использоваться и уже используются [9]. В настоящей статье рассматриваются результаты 11 лет мониторинга глубины сезонного протаивания и осадки на одной из площадок CALM, расположенной в районе г. Воркута.

Район исследования расположен в восточной части Большеземельской тундры, где распространена массивно-островная многолетняя мерзлота. Территория представляет собой полого-увалистую равнину, покрытую чехлом покровных пылеватых суглинков мощностью не более 10 м. Среднегодовая температура составляет –5.8 °С, средняя сумма положительных среднесуточных температур воздуха 1003 °С, среднегодовое количество осадков 550 мм. Климат в период наблюдений характеризовался флуктуациями среднегодовой температуры воздуха с очень слабым возрастающим трендом и флуктуациями суммы положительных

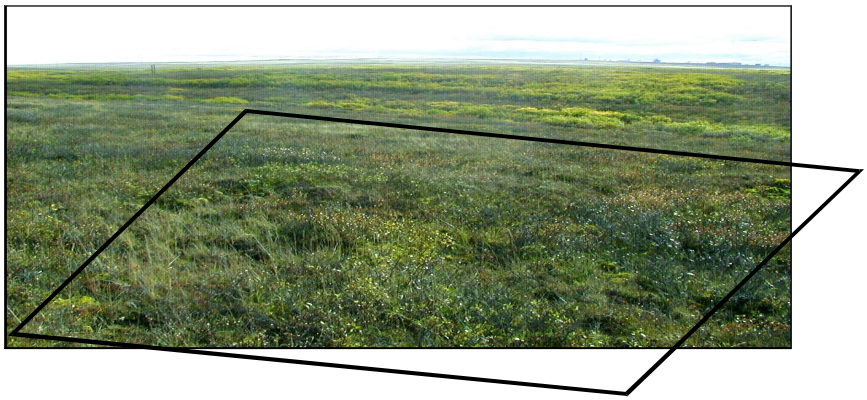


Рис. 1. Общий вид площадки CALM R2 Аяч-Яха.

температур с явным возрастающим трендом. Площадка CALM R2 Аяч-Яха (рис. 1) расположена в 13 км к северо-востоку от г. Воркута (67°35.4′ с.ш.; 64°09.9′ в.д.). Согласно стандарту CALM, мониторинговая площадка имеет размер 100×100 м и организована в виде сетки постоянных пикетов с размером ячейки 10×10 м. Площадка расположена на слабонаклонной поверхности (уклон около 3°, ЮЮЗ экспозиция) и перепадом высот 5 м. Растительность – мохово-кустарничковая тундра с морозобойными пятнами, почвы торфянисто-глеевые мерзлотные. Средняя мощность торфянистого горизонта – 12 см.

Глубина протаивания на площадке измеряется ежегодно с 1996 г. в четырех повторностях на каждом из 99 пикетов. Замеры выполняются градуированным металлическим зондом. Поверхность как сезонной, так и многолетней мерзлоты в пределах площадки постоянно плотная настолько, что ошибка за счет заглубления в нее зонда полностью исключена. Измерения проводятся в конце теплого периода (первая-вторая декады сентября), а также в большинство лет еще несколько раз за сезон для наблюдения динамики показателей. Для изучения пучения и осадки поверхности на пикетах площадки с 1999 г. ежегодно в конце теплого сезона измеряются абсолютные отметки поверхности мерзлоты и дневной поверхности. Измерения проводятся нивелиром отечественного производства, дающего ошибку 4 мм на 1 км возвратного хода. Обычная процедура нивелирования предполагает установку рейки на поверхность почвы. Однако, тяжелая рейка при установке ее на мягкий моховой покров, подстилаемый торфянистым слоем почвы, дает ошибку высотной отметки, сопоставимую с величиной годовой осадки поверхности. Чтобы избежать таких ошибок, мы прикрепляем рейку к металлическому зонду, который втыкаем в почву и устанавливаем на твердую поверхность мерзлоты. В результате мы напрямую измеряем абсолютные отметки поверхности мерзлоты, а для определения отметок поверхности почвы прибавляем к ним мощность деятельного слоя, отсчитанную по градуированной шкале зонда. Разность отметок поверхности между двумя годами составляет величину осадки. Уравнение для расчетов следующее: $\Delta ПМ = \Delta ДС + \Delta ДП$, где $\Delta ПМ$ – изменение абсолютной высотной отметки поверхности мерзлоты между двумя сроками наблюдений, $\Delta ДС$ – изменение глубины СТС между теми же сроками наблюдений, $\Delta ДП$ – величина осадки или пучения поверхности почвы.

Динамика глубины протаивания. В 1997 г. по сравнению с 1996 г. произошло небольшое уменьшение глубины протаивания, далее с 1997 по 2006 г. глубина СТС непрерывно увеличивалась. В 2006 г. средняя по площадке глубина протаивания составила 125 % (84 см) от значения 1996 г. (67 см). Увеличение глубины протаивания не следовало впрямую ни за одним из климатических показателей, но на уровне совпадения многолетних трендов согласовывалось с увеличением среднегодовой температуры воздуха (рассчитанной за гидрологические годы) и, несколько лучше, – с увеличением сумм положительных среднесуточных температур воздуха – показателем, называемым в зарубежной литературе [6] «индексом протаивания». Корреляция глубины протаивания с индексом протаивания была статистически значимой на 95 %-ном уровне вероятности с коэффициентом корреляции 0.6.

Снижение абсолютных отметок кровли мерзлоты и осадка поверхности почвы. С 1999 г. абсолютные отметки поверхности мерзлоты ежегодно снижались на подавляющем большинстве пикетов (рис. 2), среднее значение снижения кровли мерзлоты за семь лет составило 38 см. Снижение кровли мерзлоты сопровождалось осадкой поверхности почвы. Лишь на нескольких пикетах в верховье неглубокой ложбины, пересекающей площадку, наблюдался подъем уровня мерзлоты и соответственно многолетнее пучение поверхности. Средняя по площадке осадка за период наблюдений составила 18 см. Годовые средние по площадке значения опускания кровли мерзлоты варьировали от 2 до 10 см, годовые средние по площадке

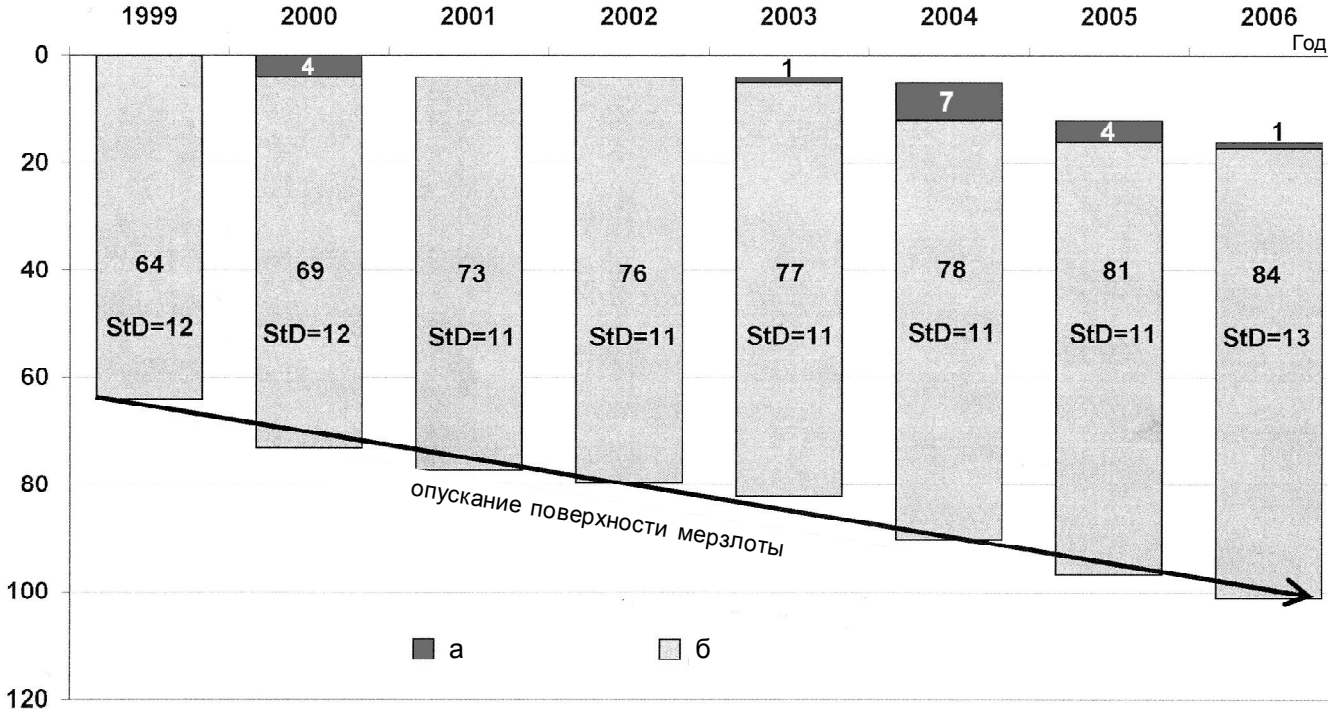


Рис. 2. Межгодовая динамика абсолютных отметок кровли многолетней мерзлоты, осадки (а) и мощности СТС (б; средние по площадке значения, для глубины СТС приведены стандартные отклонения StD). *По вертикали*: глубина, см.

значения осадки от 0 до 7 см. Средняя по площадке мощность СТС, как результат отступания кровли мерзлоты и осадки, за эти же годы увеличилась с 64 до 84 см, составив в среднем за период 75 см. Оценка величины отступания кровли мерзлоты только по мощности СТС без учета осадки привела бы к занижению среднего за период наблюдений значения в два раза.

Использование нескольких маркеров с повторными замерами угловых направлений на них не выявило латеральных смещений грунта в пределах площадки в годы наблюдений. В отсутствие таких смещений осадка в основном определяется содержанием льда в верхнем оттаивающем слое многолетней мерзлоты. Определение объемной льдистости в верхнем 30-сантиметровом слое многолетней мерзлоты в трех точках площадки показало, что она составляет 40-50 %. Криотекстура в этом слое близка к атакситовой. Для всего периода наблюдений было рассчитано отношение осадки к величине опускания кровли мерзлоты. При отсутствии латеральных сдвигов это отношение должно приблизительно соответствовать льдистости мерзлоты. Осредненное по всем пикетам за период наблюдений значение составило 48 % (диапазон 5-92 %).

Пространственное распределение показателей. Рельеф дневной поверхности в пределах площадки представлен общим склоном крутизной около 3° с выпуклым перегибом в середине площадки и слабовыраженными наложенными на него элементами – вытянутой вниз по склону ложбиной и несколькими локальными повышениями, не пересекающими всю площадку. Рельеф поверхности многолетней мерзлоты в основном повторяет рельеф дневной поверхности, но с большей амплитудой высотных отметок. Имеются замкнутые депрессии и локальные повышения, явно выраженные линии стока отсутствуют.

Опускание кровли мерзлоты дифференцировано по площадке в результате влияния микрорельефа, неоднородности растительности и других факторов. По этой причине дифференцирована и осадка поверхности. Регрессия осадки по опусканию поверхности мерзлоты с высоким (0.78) коэффициентом детерминации говорит о том, что в пределах однородной по литологии площадки (покровный суглинок), варьирование в содержании льда в оттаивающем слое мерзлоты играет подчиненную роль в пространственной дифференциации осадки. Этот вывод подтверждает также пространственное распределение суммарных за 1999-2006 гг. величин опускания кровли мерзлоты и аналогичных величин осадки поверхности (рис. 3). Значения обоих показателей были наибольшими на вогнутых участках площадки и наименьшими на выпуклых. Борт и в меньшей мере верхняя часть ложбины в восточной части площадки были единственным элементом рельефа площадки, на котором наблюдалось многолетнее пучение.

Изучался вопрос, в какой мере и как быстро многолетняя осадка изменяет рельеф поверхности площадки. Чтобы представить рельеф количественно, мы рассчитали плоскость, наилучшим образом аппроксимирующую склон, на котором расположена площадка. Отклонения высотных отметок пикетов от этого расчетного склона и рассматривались как количественная характеристика рельефа. Естественно, такой метод не универсален, однако применим при небольших перепадах высот. В случае с нашей площадкой положительные отклонения в основном соответствуют выпуклым элементам рельефа, отрицательные – вогнутым. Анализ влияния осадки на амплитуду и знаки отклонений показал, что за семь лет дифференцированная осадка существенно изменила рельеф поверхности площадки (рис. 4), причем на ряде пикетов изменилась не только величина, но и знак отклонений. Наиболее отчетливые изменения произошли в районе неглубокой ложбины, пересекающей площадку в восточной части. В нижней части ложбины шла многолетняя осадка, тогда как в верхней – многолетнее пучение. В результате нижняя часть ложбины дополнительно врезалась, тогда как верхняя совершенно снивелировалась. Аналогичные расчеты были выполнены для поверхности многолетней мерзлоты. Амплитуда высотных отметок поверхности мерзлоты на 30-40 % больше, чем амплитуда отметок дневной поверхности.

Обсуждение и выводы. Ранее [3] было показано, что три площадки CALM, имеющиеся в пределах европейского севера, демонстрируют почти синхронное изменение глубины протаивания от года к году. При этом площадки существенно различны по глубине протаивания, две из них расположены в зоне несплошной и одна – сплошной мерзлоты. Рассмотренная в этой статье площадка имеет наименьшую из трех площадок глубину протаивания, она же наиболее инерционна, последействие экстремальных по климату лет на ней немного более продолжительно, абсолютные и относительные приращения протаивания минимальны.

В вышеупомянутой статье [3] показано удовлетворительное соответствие изменения сумм положительных температур воздуха (индекс протаивания) и глубины протаивания на всех трех площадках. Это соответствие проявляется на уровне многолетних трендов, но, естественно, не на уровне ежегодного следования глубины протаивания изменениям температуры воздуха. Аналогичная связь меж-

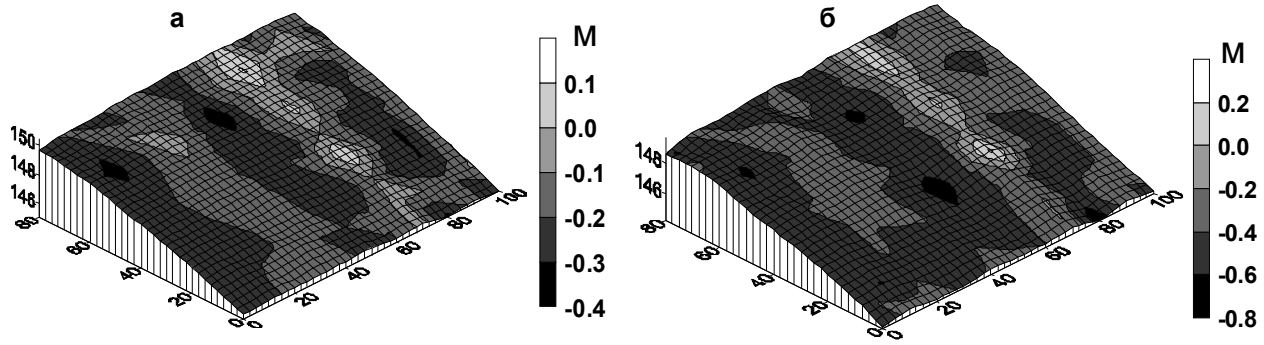


Рис. 3. Пространственное распределение величин опускания кровли многолетней мерзлоты (а) и осадки поверхности (б) за период 1999-2006 гг.

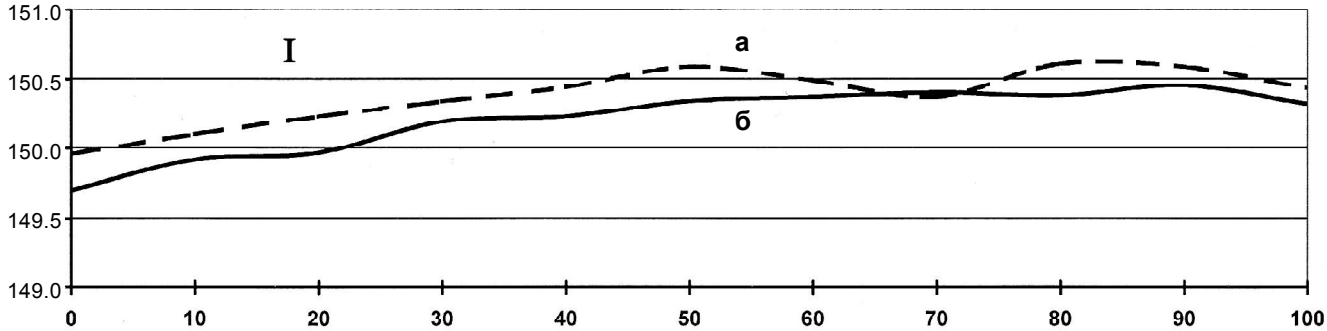
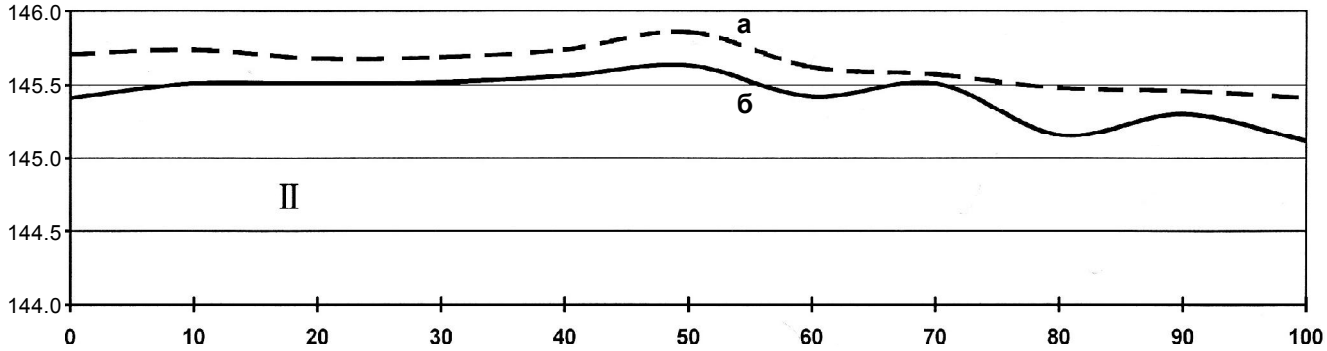


Рис. 4. Изменение рельефа поверхности мониторинговой площадки с 1999 (а) по 2006 (б) г. Вертикальные разрезы через верхнюю (I) и нижнюю (II) части площадки. *По горизонтали* – расстояние, м; *по вертикали* – высота над уровнем моря, м.



ду двумя показателями отмечена многими другими авторами для различных регионов. Анализ данных по большому количеству площадок CALM в пределах Колымской низменности [4], где авторы вместо собственно индекса протаивания используют среднелетнюю температуру, показывает, что прямая корреляция последней с мощностью СТС выявляется для большинства зональных и отсутствует для большинства интразональных ландшафтов. В то же время А.В. Павлов и др. [2] указывают на недостаточно сильную корреляцию сумм летних температур и глубины протаивания и необходимость при прогнозировании последней учитывать и другие метеорологические факторы.

Данные по анализируемому нами ландшафту показывают на уровне долговременного тренда связь глубины протаивания с индексом протаивания. Анализ связи глубины протаивания с осадками, влажностью грунта, снежным покровом, зимними температурами воздуха на нашей площадке не показал значимой корреляции. В этих условиях остается признать, что из всех климатических параметров суммы положительных температур воздуха демонстрируют наилучшую связь с глубиной протаивания. Эта связь, безусловно, осложняется действием других факторов.

Методы измерений, положенные в основу программы CALM, позволяют определять глубину протаивания и сопряженные с ней показатели с более высокой точностью, чем традиционные методы. Параллельно получается информация о процессах локального уровня, таких как осадка поверхности почвы, изменение рельефа дневной поверхности и рельефа многолетней мерзлоты. Выявлено, что на пылеватых суглинках дифференцированная осадка поверхности почвы за семь лет существенно меняет рельеф поверхности и пути стока надмерзлотных вод. При прогрессирующем оттаивании мерзлоты многолетняя осадка сопровождается многолетним пучением лишь на локальных микроучастках. При этом участки, испытывающие пучение, слабо выражены в рельефе и не маркируются другими ландшафтными индикаторами, что делает традиционные точечные измерения недостаточно надежными и свидетельствует о предпочтительности осреднения по статистическому числу точек в пределах одного ландшафта.

Работа выполнена в рамках международной программы «Циркумполярный мониторинг деятельного слоя» (CALM), гранты OPP-9732051 и OPP-0352958, финансируемые U.S. National Science Foundation.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Павлов А.В.* Мерзлотно-климатические изменения на севере России: наблюдения, прогноз // Изв. АН. Сер. Геогр., 2003, № 6. С. 39-50.

2. *Павлов А.В., Скачков А.Б., Какунов Н.Б.* Взаимосвязь между многолетними изменениями глубины сезонного протаивания грунтов и метеорологическими факторами // Криосфера Земли, 2004. Т. VIII, № 4. С. 3-11.

3. (Пространственная и временная вариабельность...) Active layer spatial and temporal variability at European Russian circumpolar-active-layer-monitoring (CALM) sites / *G. Mazhitova, G. Malkova, O. Chestnykh* et al. // Permafrost and periglacial processes, 2004. № 15. P. 123-139.

4. Пространственно-временные закономерности сезонного протаивания почв на севере Колымской низменности / *Д.Г. Федоров-Давыдов, С.П. Давыдов, А.И. Давыдова* и др. // Криосфера Земли, 2004. Т. VIII, № 4. С. 15-26.

5. Особенности изменения температуры почв России в период последнего потепления климата / *С.М. Чудинова, С.С. Быховец, В.А. Сороковиков* и др. // Криосфера Земли, 2003. Т. VII, № 3. С. 23-30.

6. *Boyd D.W.* Normal freezing and thawing degree-days for Canada: 1931-1960 // Environment Canada. Atmospheric Environment Service. Downsview (Ontario), 1973. 38 p. – (Publication CLI 4-73).

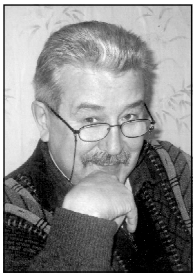
7. *Brown J., Hinkel K.M., Nelson E.F.* The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) program: research designs and initial results // Polar Geography, 2000. Vol. 24, № 3. P.165-258.

8. IPCC WGI Fourth Assessment Report. Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change, website: http://www.ipcc.ch

9. *Klene A.E., Nelson F.E., Shiklomanov N.I.* The N-factor in natural landscapes: variability of air and soil-surface temperatures, Kuparuk River basin, Alaska, USA // Arctic, Antarctic and Alpine Research, 2001. № 33. P. 140-148. ❖

НАСЫЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ В ПОЧВАХ

В торфянисто-подзолисто-глееватых почвах идентифицирован гомологический ряд н-алканов (C_{20}÷C_{35}). В составе органического вещества почв преобладают структуры с «нечетным» числом атомов углерода (C_{25}÷C_{35}). Выявлено, что основное количество как «нечетных», так и «четных» н-алканов аккумулируется в торфянистой подстилке. В минеральных горизонтах массовая доля «нечетных» н-алканов резко уменьшается и практически выравнивается с «четными» в почвообразующей породе. Установленные закономерности накопления, молекулярно-массового соотношения «четных» и «нечетных» насыщенных углеводородов в почвах позволяют оценить интенсивность преобразования органических компонентов надпочвенного покрова в гумусовые вещества и выявить воздействие техногенеза на почвенный покров.



д.с.-х.н. **В. Безносиков**
зав. лабораторией
химии и экологии почв
E-mail: beznosikov@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы:
экология и химия почв

к.х.н. **Б. Кондратенок**
зав. экоаналитической лабораторией
E-mail: kondratenok@ib.komisc.ru

Научные интересы: *аналитическая химия органических соединений, хроматографические методы анализа объектов окружающей среды*

к.б.н. **Д. Габов**
н.с. лаборатории химии и экологии почв
E-mail: gabov@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы: *полициклические ароматические углеводороды в природных объектах*

к.х.н. **И. Груздев**
с.н.с. экоаналитической лаборатории
E-mail: gruzdev@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 50 11

Научные интересы: *аналитическая химия органических соединений, хроматографические методы анализа объектов окружающей среды*

Введение

Интенсивное развитие органической геохимии (науке о строении и химической эволюции органических соединений в земной коре) в последние годы во многом явилось следствием внедрения новых аналитических методов исследований, позволяющих разделить и идентифицировать индивидуальные соединения в сложных смесях органических веществ. Как отмечал А.А. Петров, «по сути дела эта отрасль науки является логическим продолжением хорошо известной химии природных биологических соединений... [Она] использовала всю современную методологию своей предшественницы, т.е. молекулярный уровень исследований с определением не только структуры, но и пространственной конфигурации изучаемых молекул, а также все современные достижения аналитической и органической химии» [7, с. 3]. Методы органической геохимии, на наш взгляд, могут вполне корректно использоваться в исследованиях органического вещества почв.

Особая роль при геохимических исследованиях органических веществ отводится так называемым молекулам-биомаркерам или хемоссилиям (chemical fossils) [6]. Эти соединения используются для выяснения состава, основных типов, накопления, определения «степени зрелости» и продуцентов генерации органического вещества. Источником органических веществ хемофоссилий являются главным образом липидные составляющие биоорганических молекул, которые представляют собой продукты химического преобразования бактерий, водорослей, фито- и зоопланктона, высшей растительности [2]. Количество липидов может достигать в водорослях до 10÷20 %, бактериях (бактериальные мембраны) – 30÷50 % [8]. Липиды органического мира представлены главными образом соединениями, состоящим из молекул, имеющих в основе неразветвленную цепь или слаборазветвленные и изопреноидные звенья. Обычно к биомаркерам образования органических веществ и их дериватов в осадочных породах относят н-алканы, алканы изостроения, стераны, ди- и тритерпаны и др. [3, 4, 7, 8]. Насыщенные алканы являются биомаркерами преобразования органического вещества из различных продуцентов растительного и животного происхождения [3, 7].

Липидная фракция водорослей может содержать до 5 % н-алканов, в высших растениях найдены нормальные алканы C_{10}÷C_{40} со значительным преобладанием нечетных углеводородов в диапазоне н-C_{23}÷н-C_{35} (особенно велики концентрации н-C_{27}, н-C_{29} и н-C_{31}). Нормальные алканы, относительно стабильные биогенные соединения, образуются как путем прямого наследования биохимических структур биопродуцентов органического вещества, так и в результате трансформации липидной фракции гумуса, содержащего неразветвленные цепочки углеродных атомов в виде высших карбоновых кислот, спиртов и эфиров [1].

В рассеянных органических веществах (РОВ) пород н-алканы представлены полным гомологическим рядом, начиная с метана (C_1). Конец гомологического ряда в значительной степени определяется возможностями аналитической техники. В рядовых анализах обычно ограничиваются $C_{35÷36}$. Тип распре-

деления нормальных алканов зависит от ряда факторов и несет важнейшую геохимическую информацию об условиях формирования исследуемых РОВ пород.

Дж. Хантом [11] впервые было установлено, что в высших растениях содержатся н-алканы с «нечетным» числом атомов углерода (C_{25}÷C_{37}), а также производные н-алканов, как высшие спирты и карбоновые кислоты, представленные четными гомологами от C_{24} до C_{36}. Позже [10] было показано, что в растительности представлены также «четные» н-алканы и «нечетные» кислоты и спирты, но в значительно более низких концентрациях. Наиболее распространенными н-алканами в составе восков высшей растительности являются C_{27}, C_{29} и C_{31}. По сравнению с высшей наземной растительностью морской фитопланктон содержит в составе липидной фракции более короткоцепочечные н-алканы, в которых преобладают C_{15}, C_{17}, C_{19}, C_{21}. Промежуточным вариантом накопления н-алканов характеризуются водоросли – для них характерно преобладание C_{21}, C_{23}, C_{25}-гомологов [11].

Образование «нечетных» н-алканов в породах в диапазоне $C_{20\text{-}32}$ объясняется тем, что большинство углеродных цепочек, синтезируемых живыми организмами, содержит четное число атомов углерода – это н-алканы, высшие спирты и карбоновые кислоты. Преобразование последних двух происходит через механизм декарбоксилирования, при этом углеродная цепь укорачивается на один атом и соединение становится «нечетным». Однако в резко восстановительных условиях может преобладать реакция восстановления без изменения числа атомов углерода в цепи и в этом случае будет происходить преимущественное накопление н-алканов с четным числом атомов углерода [11].

Для оценки преобразования биопродуцентов органического вещества Е. Брей и Е. Эванс [9] предложили использовать отношения нечетных алканов к четным – индексы CPI (carbon preference index), рассчитываемые по формуле:

$$CPI = 0.5[(\Sigma C_{25,27,29,31,33}/\Sigma C_{24,26,28,30,32})+(\Sigma C_{25,27,29,31,33}/\Sigma C_{26,28,30,32,34})].$$

Согласно данным этих авторов, величина CPI составляет для современных осадков более 5, для древних глин – от 1 до 3, а для нефтей значение CPI близко к 1.

Цель настоящих исследований – выявить закономерности образования и распределения н-алканов по профилю торфянисто-подзолисто-глееватых почв в целинных и аэротехногенно-нарушенных ландшафтах таежной зоны, оценить вклад «четных» и «нечетных» н-алканов в общем пуле накопления насыщенных углеводородов в почвах.

Объекты и методы исследования

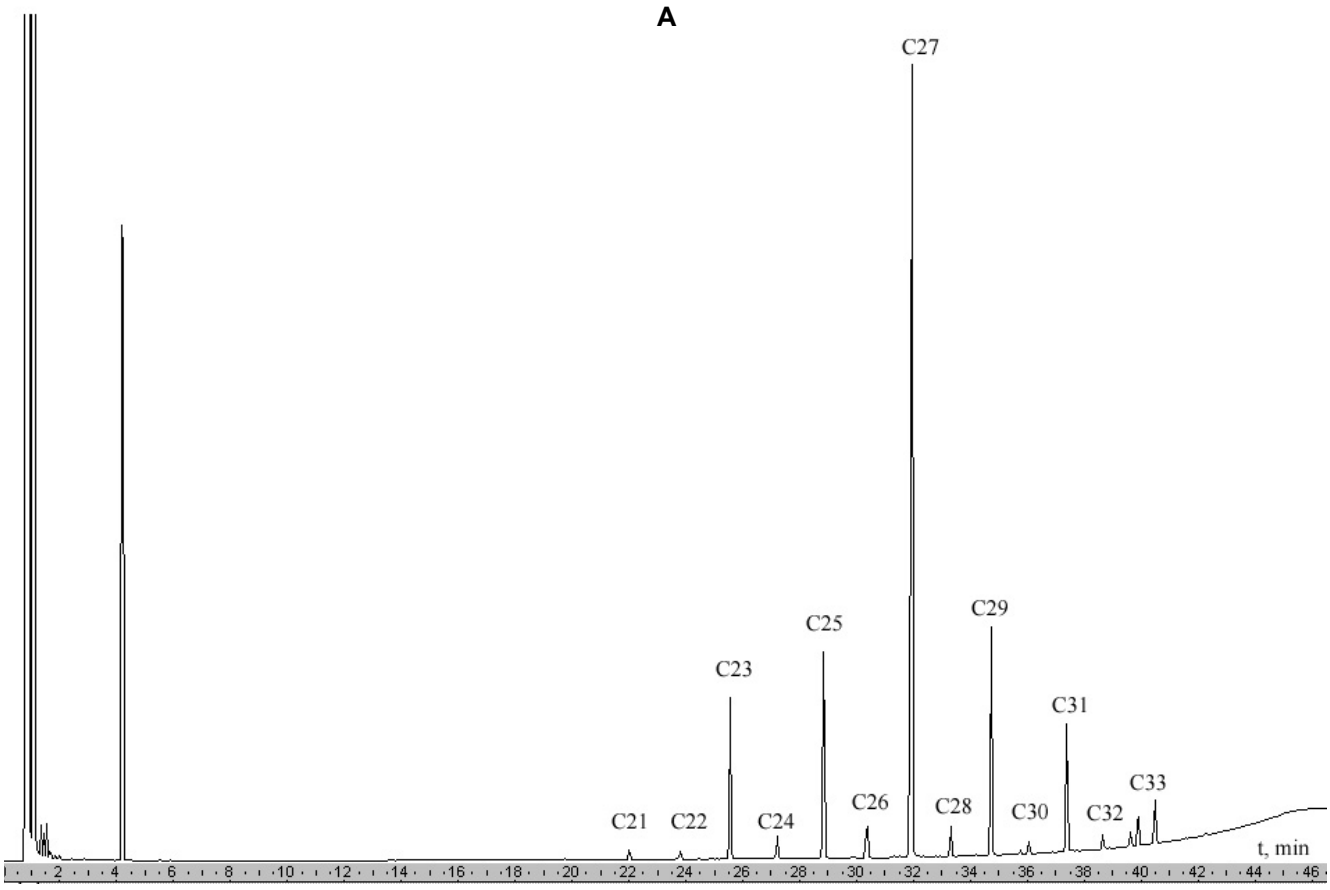
Объекты исследований – торфянисто-подзолисто-глееватые почвы фоновых и аэротехногенно-нарушенных ландшафтов: фоновые почвы в северной тайге расположены около пос. Троицко-Печорск, в средней – Максимовского стационара Института биологии Коми научного центра УрО РАН; аэротехногенно-нарушенные почвы в северной тайге – сажевый завод, в средней – целлюлозно-бумажный комбинат. Физико-химические и морфологические свойства почв представлены в работах, опубликованных ранее [5].

Пробу почвы массой 1 г помещали в коническую колбу с притертой пробкой вместимостью 100 см^3 и дважды экстрагировали хлористым метиленом (20 см^3 + 20 см^3). Для сокращения времени экстракции и достижения большей эффективности применяли ультразвуковую обработку пробы. Полученные экстракты объединяли и высушивали в токе воздуха до объема 1÷2 см^3, к остатку приливали 3÷5 см^3 н-гексана и вновь высушивали до объема 1÷2 см^3 (но не досуха!). Разделение экстрактов проводили методом колоночной хроматографии для удаления примесей, мешающих определению н-алканов. Для разделения фракций использовали оксид алюминия («Fluka», размер частиц 0.05÷0.15 мм) и силикагель («Fluka», размер частиц 0.063÷0.2 мм). На колонке с оксидом алюминия отделяли фракцию н-алканов и полициклических ароматических соединений (фракция F1) от полярных соединений. Далее на колонке с силикагелем фракцию F1 разделяли на фракции н-алканов (F2) и полициклических ароматических соединений.

Качественное и количественное определение содержания н-алканов в почвах осуществляли методом газожидкостной хроматографии на приборе «Кристалл 2000М». Хроматографическое разделение проводили на колонке HP-5 («Hewlett-Packard») длина – 25 м, $d_{внутр.}$ – 0.2 мм, толщина слоя неподвижной фазы – 0.33 мкм. Хроматографирование выполняли в режиме программирования температуры от 100 до 320 °С со скоростью 5 °С. Температура инжектора составляла 320 °С, детектора – 250 °С. Ввод пробы объемом 3 мкдм^3 осуществляли в режиме деления потока. Идентификацию и количественное определение индивидуальных н-алканов осуществляли по временам удерживания методом внутреннего стандарта. В качестве последнего использовали н-алкан $C_{12}H_{26}$ с концентрацией 0.5 мг/см^3.

Обсуждение результатов

Исследования показали, что в фоновых торфянисто-подзолисто-глееватых почвах северной и средней тайги насыщенные углеводороды представлены идентичными гомологическими рядами н-алканов, начиная с C_{21} и заканчивая C_{33} (рис. 1, табл. 1), что свидетельствует о единых механизмах их накопления в почвах разных биоклиматических зон. Накопление насыщенных углеводородов в органогенных горизонтах почв северной тайги в 2.3 раза ниже, чем в средней (62.67 и 142.73 мкг/г соответственно). Это обусловлено замедленной минерализацией органического вещества растительного и животного происхождения в почвах северной тайги в связи с холодным температурным режимом.



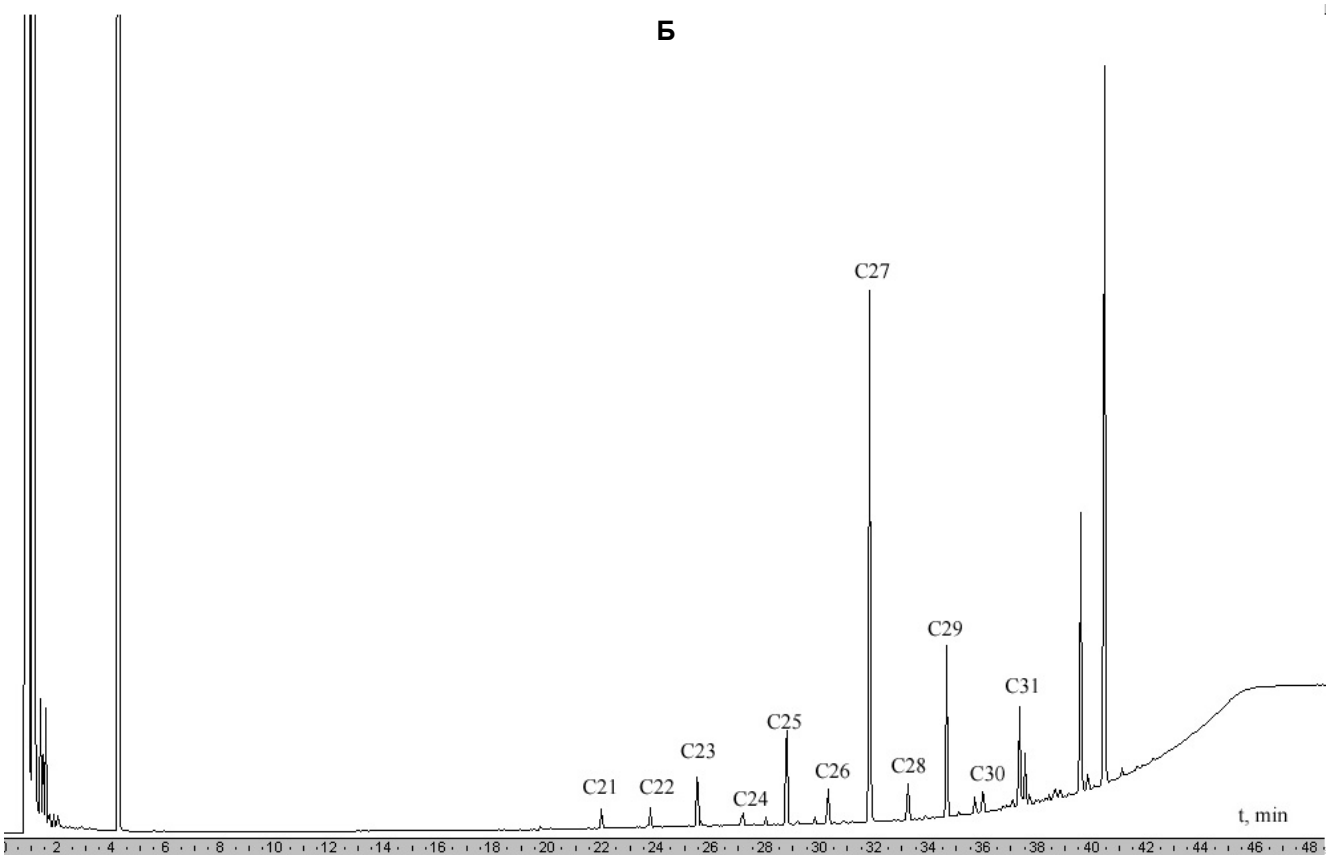


Рис. 1. Хроматограмма н-алканов в органогенном горизонте фоновой торфянисто-подзолисто-глееватой почвы в средней (А) и северной (Б) тайге.

Таблица 1

Массовая доля н-алканов в фоновой торфянисто-подзолисто-глееватой почве (средняя тайга), мкг/г

Алкан	Горизонт (глубина, см)									
	O1 (0-8)	O2 (8-12)	A2hg (12-20)	A2g (20-28)	A2g (28-37)	A2B1g (37-50)	B1g (50-70)	B_2g (70-98)	BCg (98-120)	Cg (120-180)
C35	0	0	0.07	0	0.14	0.03	0	0.19	0	0.09
C34	0	0.10	0.04	0	0.19	0.06	0	0.19	0	0.10
C33	3.26	0.61	0.19	0.28	0.42	0.18	0.08	0.36	0.11	0.20
C32	1.14	0.25	0.14	0.26	0.47	0.15	0.12	0.53	0.14	0.31
C31	12.80	2.24	0.67	0.88	0.98	0.49	0.25	0.88	0.32	0.54
C30	1.24	0.29	0.15	0.44	0.74	0.27	0.26	1.15	0.33	0.76
C29	15.90	4.08	1.06	1.49	1.24	0.47	0.39	1.53	0.49	1.07
C28	2.44	0.78	0.34	0.75	1.00	0.32	0.40	1.67	0.52	1.30
C27	70.60	10.00	3.26	3.52	1.73	0.59	0.40	1.55	0.52	1.27
C26	3.16	0.93	0.64	0.96	0.94	0.27	0.37	1.31	0.42	1.22
C25	23.20	2.86	0.85	1.01	0.68	0.29	0.21	0.64	0.23	0.55
C24	1.48	0.56	0.30	0.39	0.30	0.16	0.15	0.30	0.12	0.34
C23	5.88	1.04	0.45	0.48	0.29	0.22	0.13	0.16	0.09	0.18
C22	0.69	0.34	0.37	0.45	0.48	0.45	0.10	0.11	0.53	0.28
C21	0.94	0.14	0.31	0.35	0.34	0.33	0	0.06	0	0.09
C20	0	0	0.10	0.11	0	0.12	0	0	0	0.11
Сумма	142.73	24.23	8.94	11.35	9.92	4.40	2.85	10.65	3.83	8.41
CPI	13.3	4.65	3.02	2.3	1.41	1.45	1.04	1.02	0.85	0.9

Примечание. Здесь и далее: CPI – Carbon preference index, соотношение нечетных и четных алканов.

В более благоприятных для протекания почвообразовательных процессов условиях средней тайги степень минерализации органического вещества возрастает, что приводит к значительному накоплению н-алканов как в органогенных, так и минеральных горизонтах. Необходимо отметить особенности накопления и распределения углеводородов по профилю почв:

– накопление н-алканов в почвах имеет ярко выраженный аккумулятивный характер в торфяных подстилках, в условиях промывного водного режима это свидетельствует об их слабой миграционной способности;

– в органогенных горизонтах доминируют высокомолекулярные н-алканы с «нечетным» числом атомов углерода (C_{27}÷C_{35}), суммарная массовая доля которых в 13 раз превышает массовую долю «четных» углеводородов;

– значения индексов CPI практически одинаковы для фоновых почв как средней, так и северной тайги, что свидетельствует об отсутствии различий в глубине гумификации растительных остатков в почвах разных зон;

– по мере нарастания глубины профиля, начиная с 10÷20 см, содержание «нечетных» н-алканов резко уменьшается и уже в элювиальной толще практически выравнивается с «четными» алканами, в горизонтах BC–C значение массовой доли «четных» насыщенных углеводородов достигает 52.6÷59.8 % общей суммы н-алканов в этих горизонтах, а индексы CPI соответственно уменьшаются до значений 1÷2.

Образование «нечетных» н-алканов (C_{27}÷C_{35}) происходит преимущественно за счет автотрофных организмов, главным образом, высших растений. Массовая доля нечетных алканов в органогенном горизонте (O) составляет 69.8÷71.9 %, в минеральных горизонтах их содержание уменьшается до 37.6 % (горизонт C). Формирование пула «нечетных» н-алканов с количеством атомов углерода C_{21}, C_{23}, C_{25} происходит, в основном, в результате жизнедеятельности водорослей. Массовая доля данных алканов составляет в горизонте O 16.7÷21.0 %, в минеральной толще – 8.4÷16.2 % общего содержания углеводородов в данных горизонтах.

Общие качественные закономерности формирования состава н-алканов в аэротехногенных почвах аналогичны фоновым ландшафтам (табл. 2). Для всех техногенных почв характерна аккумуляция н-алканов в органогенных горизонтах. В профиле северотаежной торфянисто-подзолисто-глееватой почвы массовая доля суммы н-алканов в органогенном горизонте составляет 84 мкг/г, для среднетаежной – 30 мкг/г. Резкое снижение н-алканов и

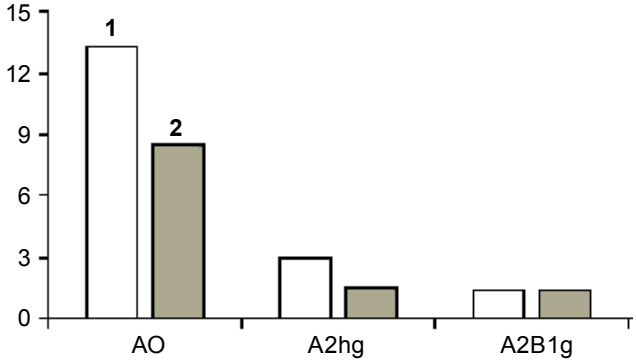


Рис. 2. Значения индексов CPI торфянисто-подзолисто-глееватой почвы, средняя тайга. Здесь и на рис. 2: 1 – фоновый, 2 – аэротехногенно загрязненный.

CPI до 8.5 (фон – 13.3) в почвах санитарно-защитной зоны лесопромышленного комплекса (средняя тайга) (рис. 2) обусловлено значительным загрязнением почв различными поллютантами и снижением биопродуктивности надпочвенного покрова, который является главным продуцентом алифатических углеводородов. Отмеченное увеличение н-алканов в импактной зоне сажевого завода (северная тайга) (рис. 3) по сравнению с фоном обусловлено, вероятно, изменением энергетического баланса территории вследствие изменения альбедо. Сажевая пыль, попадая на поверхность почвы, снижает отражающую способность, поглощает солнечную энергию, повышает температуру поверхности почвы и припочвенного воздуха, что способствует росту продуктивности надпочвенного покрова и синтеза насыщенных углеводородов. Абсолютные количества насыщенных углеводородов в техногенных ландшафтах средней тайги в 4.8 ниже фоновых, северной тайги – в 1.3÷1.4 выше. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в импактных зонах накопление н-алканов в почвах происходит, в основном, за счет педогенеза.

Выявлены сходные закономерности вертикальной дифференциации н-алканов в техногенно-трансформированных и фоновых почвах. В профилях почв, формирующихся в условиях интенсивной техногенной нагрузки (сажевый завод, целлюлозно-бумажный комбинат) и их фоновых аналогах, наблюдается резкая приповерхностная аккумуляция как «нечетных», так и «четных» н-алканов.

В составе н-алканов органогенных горизонтов преобладают нечетные углеводороды. В минеральных горизонтах всех исследованных аэротехногенных почв массовые доли «нечетных» и «четных» алканов имеют сопоставимые значения, соответственно уменьшаются и значения индексов CPI. Результаты исследований показали, что по значениям индексов CPI можно судить о степени трансформации органических веществ в почвах и их загрязненности.

Таблица 2

Массовая доля н-алканов в органогенном горизонте фоновых (I) и аэротехногенно-загрязненных (II) торфянисто-подзолисто-глееватых почв в средней (*верхняя строка*) и северной (*нижняя строка*) тайге, мгк/г

Алкан	Почва	
	I	II
C33	3.26 0	0 То же
C32	1.14 0	0 0.33
C31	12.80 1.80	3.64 4.90
C30	1.24 0.23	0.59 1.05
C29	15.90 4.04	4.22 8.96
C28	2.44 0.82	1.06 2.34
C27	70.60 31.20	11.30 47.60
C26	3.16 0.96	0.94 2.44
C25	23.20 11.64	5.18 9.92
C24	1.48 0.69	0.40 0.62
C23	5.88 9.22	2.48 3.82
C22	0.69 0.57	0 0.41
C21	0.94 1.46	0 0.33
C20	0 0.04	0 То же
Нечетные	132.58 59.36	26.82 75.53
Четные	10.15 3.31	2.99 7.19
Сумма	142.73 62.67	29.81 82.72
CPI	13.3 14.76	8.54 12.76

Заключение

Таким образом, в почвах идентифицирован гомологический ряд н-алканов – C_{21}÷C_{33}, в составе органического вещества почв преобладают структуры с числом атомов углерода C_{25}, C_{27}, C_{29}, C_{31}, C_{33}, C_{35}. Это свидетельствует о том, что накопление «нечетных» ациклических углеводородов в органогенных горизонтах почв происходит в основном в результате трансформации органического вещества высшей и низшей растительности. Накопление «нечетных» н-алканов в почвах имеет, главным образом, микробное происхождение и особенно это характерно для почвообразующих пород. Суммарное фоновое содержание н-алканов в органогенных горизонтах почв средней тайги существенно выше, чем в северной тайге, однако механизм образования насыщенных углеводородов в процессе педогенеза в разных биоклиматических зонах практически одинаков, что подтверждается идентичным качественным составом насыщенных углеводородов в почвах. Массовая доля н-алканов и CPI является индикатором глубины гумификации растительных и животных остатков. Дифференциация профиля по содержанию различных н-алканов для всех изученных почв имеет отчетливо выраженный аккумулятивный характер. В минеральных горизонтах массовая доля «нечетных» алканов уменьшается на порядок и выравнивается с «четными» алканами, индексы CPI уменьшаются до значений 1÷2. Такой характер профильного распределения «нечетных» углеводородов в условиях промывного водного режима почвы свидетельствует об их слабой миграционной способности. Выявленные закономерности накопления, миграции, соотношения «четных» и «нечетных» н-алканов в почвах позволяют оценить интенсивность преобразования органического вещества и выявить воздействие техногенеза на почвенный покров.

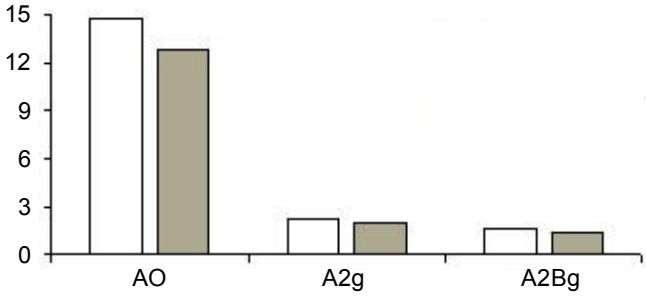


Рис. 3. Значения индексов CPI торфянисто-подзолисто-глееватой почвы, северная тайга.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Белоконь Т.В., Фрик М.* Применение биомаркеров в нефтегазовой геологии // Геология, методы поисков, разведки и оценки топливно-энергетического сырья. М., 1993. 47 с. – (Обзор / АО «Геоинформмарк»).

2. Биомаркеры в нефтях восточных районов Сибирской платформы как индикаторы условий формирования нефтепроизводных отложений / *В.А. Каширцев, А.Э. Конторович, Р.П. Филп* и др. // Геология и геофизика, 1999. Т. 40, № 11. С. 1700-1710.

3. *Бушнев Д.А.* Основы геохимической интерпретации данных по составу и распределению индивидуальных органических соединений в нефтях и осадочных породах. Сыктывкар, 1999. 48 с.

4. *Вассоевич Н.Б.* Геохимия органического вещества и происхождение нефти. М.: Наука, 1986. 368 с.

5. Идентификация полициклических ароматических углеводородов в почвах / *Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенок* и др. // Почвоведение, 2004. № 11. С. 1305-1312.

6. *Кальвин М.* Химическая эволюция. М.: Мир, 1971. 283 с.

7. *Петров Ал.А.* Углеводороды нефти. М.: Наука, 1984. 264 с.

8. *Тиссо Б., Вельте Д.* Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 501 с.

9. *Bray E.E., Evans E.D.* Hydrocarbons in non-reservoir-rock source beds: Pt. 1 // AAPG Bull., 1965. Vol. 49. P. 248-257.

10. Further observation on the paraffins and prirmary alcogols of plant waxes / *J.D. Waldron, D.S. Govers, A.S. Chibnal* et al. // Biochem J., 1961. Vol. 78. P. 435-442.

11. *Hunt J.M.* Petroleum geochemistry and geology. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1979. 617 p. ❖

ПОВЕДЕНИЕ МЕДИ В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ НА ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) – одна из самых насущных проблем современной экологии. Последствия загрязнения сказываются на всех компонентах биосферы, но, прежде всего, на почве и растениях. Передвигаясь по трофическим цепям и накапливаясь в организме животных и человека, ТМ вызывают ряд тяжелых заболеваний [8, 9]. Медь, относясь к группе приоритетных загрязнителей почв, является физиологически активным микроэлементом. Ей принадлежит важная роль в физиологических процессах, ускорении развития, а также в повышении адаптивных способностей растений [7]. В оптимальных концентрациях она обеспечивает нормальные условия жизнедеятельности растений, при избытке оказывает ингибирующее действие [1, 3]. Действие меди зависит от физико-химических свойств, элементного состава, буферности почв, вследствие чего при определении нагрузок на почву и растения необходим региональный подход с учетом специфики культур [2, 6]. Поведение меди в системе почва–растение изучалось на хорошо окультуренной легкосуглинистой подзолистой почве со следующей агрохимической характеристикой: pH – 5.3-5.7, содержание гумуса – 1.8-1.9 %, сумма обменных оснований – 5.8-6.1 ммоль/100 г, гидролитическая кислотность – 2.6-3.7 ммоль/100 г, азот гидролизуемый – 3.0-4.9 мг/100 г, содержание подвижных фосфора – 25.8-28.5 и калия –11.7-12.2 мг/100 г (по Кирсанову), меди – 1.7 мг/кг (1М HCl).

Исследования проведены в мелкоделяночном опыте с контрастными дозами меди и в микрополевом эксперименте с возрастающими концентрациями элемента. В мелкоделяночном эксперименте в дополнение к фону были созданы три уровня меди. Количество элемента для создания первого уровня соответствовало оптимальной дозе меди для подзолистых почв Республики Коми – 500 мг/м² (1.7 мг/кг). Второй уровень превышал первый в 10, третий – в 100 раз. Максимальная доза меди была выше ПДК. Медь вносилась в виде химически чистой соли $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. В первый год возделывали овес и горох в смешанном посеве, под него подсевали клевер. Последействие меди изучали два года на клевере, третий – на овсе. В качестве фона использовали $N_{60}P_{60}K_{60}$, клевер подкармливали $N_{30}P_{30}K_{30}$. Для микрополевого опыта была подготовлена серия из десяти возрастающих концентраций меди путем смешивания почвы с третьего уровня загрязнения мелкоделяночного эксперимента с почвой контрольных делянок. Почва в количестве 10 кг помещалась в полиэтиленовые сосуды без дна диаметром 20, высотой – 30 см, которые закапывались в траншеи. В каждый из сосудов высевали по 25 семян гороха и 15 овса.

д.с.-х.н. **Г. Елькина**
с.н.с. отдела почвоведения
E-mail: elkina@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы:
минеральное питание, микроэлементы, тяжелые металлы

Л. Адамова
вед. инженер-химик
экоаналитической лаборатории

Научные интересы: *аналитическая химия, микроэлементный анализ*

Применение ранее загрязненной почвы позволило исключить подкисляющее действие сульфат-иона. Кроме того, в естественных условиях произошли трансформация вносимой соли и уравновешивание форм меди. Валовое содержание меди в почвах после разложения смесью азотной, фтористоводородной и хлорной кислот определяли методом атомной абсорбции на приборе фирмы «Hitachi» (модель 180-80 Z). В почвах, наряду с валовым содержанием, анализировались подвижные формы, переходящие в 1 М HCl, ацетатно-аммонийный буфер (pH 4.8). Определение меди в растениях осуществляли после разложения смесью азотной кислоты и перекиси водорода на СВЧ-минерализаторе «Минотавр-1» методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ПНДФ 16.1:2.3: 3.11-98).

Влияние меди на растения проявилось уже на первых этапах онтогенеза и выразилось в изменении всхожести семян. Если количество взошедших растений на первом и втором уровнях мало отличалось от фона, то отдельные слабые всходы овса на

делянках с избытком меди (третий уровень) впоследствии выпали, горох и клевер на них не взошли. Позднее действие меди отразилось на росте и внешнем виде растений. На делянках с оптимальным количеством меди растения на 10-14 % опережали, а при десятикратном превышении – на 12-18 % отставали в росте. Симптомы избытка меди проявлялись в виде хлоротичных пятен на листьях гороха. Хлороз обусловлен антагонизмом между медью и железом [10]. Изменения во всхожести семян, стимулирование или ингибирование роста, нарушения в обмене веществ определили биомассу однолетних трав. Оптимальная доза (1.7 мг/кг) увеличила продуктивность на 24 %, избыток ее (17 мг/кг) вызвал депрессию (–16 %). Максимальная доза привела к гибели растений.

Стимулирующее влияние оптимальной дозы проявилось на второй-третий год после внесения на клевере, прибавка составила 10-14 %. При избытке меди его биомасса была ниже на 10-28 %. Токсичность высоких доз меди в меньшей мере проявилась на овсе, который был высеян на четвертый год. Продуктивность злака на делянках с максимальной дозой составила треть контроля, а при применении второй дозы наблюдался небольшой положительный эффект. О снижении токсического действия меди можно судить и по тому факту, что горох, высеянный на делянки с максимальной дозой меди на следующий год после внесения, взошел и не погиб, хотя биомасса его была на 72 % ниже в сравнении с фоном. Действие меди определялось временем взаимодействия с почвой: спад фитотоксичности обусловлен закреплением элемента почвенно-поглощающим комплексом, частичной миграцией, отчуждением элементов растениями.

С повышением доз меди возросло поступление ее в растения, особенно в горох и клевер. Количество меди в надземной биомассе гороха на втором уровне составило 16.3, клевера – 12.8 мг/кг, что в два-три раза выше, чем на контроле (5.5 мг/кг). В микрополевом опыте с возрастающими концентрациями удалось установить более точные границы положительного и негативного действия меди. Валовое количество меди в эксперименте возрастало от невысокого – 9.8 на контроле до 182.8 мг/кг, что выше ПДК. Содержание подвижной меди в 1 М HCl, которая применяется как индивидуальная вытяжка при определении обеспеченности медью и как групповой экстрагент для характеристики загрязнения почв ТМ, в контроле составило 2.1 мг/кг (21.7 % валового). Более мягкая экстракция достигалась при воздействии ацетатно-аммонийным буфером (а.а.б.) – 0.21 мг/кг (2.1 %). По мере роста валового содержания происходило увеличение подвижных форм: максимальное количество меди в вытяжке 1 М HCl составило 140.9, в а.а.б. – 84.2 мг/кг. При этом вследствие низкой буферности подзолистых почв увеличились не только абсолютные величины, но и их относительное количество. Доля меди, извлекаемая 1 М HCl, возросла более чем в три, а.а.б – более чем в 20 раз по сравнению с контролем. Солянокислая вытяжка характеризовала в основном потенциальный запас меди в почве, второй экстрагент извлекал более доступные соединения, количество которых возрастало более быстрыми темпами, чем общее содержание. В почвах с высокой степенью загрязнения преобладали наиболее опасные с экологической точки зрения мобильные соединения. Вследствие этого считаем неправомерным использование только валового содержания при нормировании ТМ.

Повышение содержания меди до определенного уровня способствовало росту продуктивности гороха. Медь в количестве 98.2 мг/кг (1 М HCl) обеспечила максимальную биомассу бобового компонента: масса растений в первый год наблюдений была в 7-8 раз выше, чем на контроле. Высокая продуктивность гороха отмечалась в диапазоне концентраций 59.4-127.2 мг/кг (1М HCl). Дальнейшее повышение концентрации меди вызвало падение продуктивности: из-за избытка элемента биомасса гороха снизилась наполовину от максимальной, превышая при этом вес растений на контроле. Благоприятный интервал для злакового компонента был ниже и составил 19.6-45.7 в первый год и 33.2-59.4 мг/кг (1 М HCl) на второй год, в дальнейшем шло ингибирование роста: продуктивность снизилась ниже уровня контрольных делянок.

Устойчивое повышение продуктивности однолетних трав обусловлено низким содержанием микроэлемента в почве. Зависимость между количеством меди в почве и продуктивностью (линии трендов средних показателей биомассы за два года) описывается уравнением параболы при высокой аппроксимации (рис. 1). Метаболические нарушения вызывали как недостаток, так избыток меди. В пределах смоделированных концентраций горох более реагировал на недостаток микроэлемента, чем на его избыток, овес же наоборот. Разное отношение культур к меди обусловлено их генетическими особенностями и сложившимися экологическими условиями. Сдерживание роста овса также вызывалось конкуренцией с горохом за освещенность и элементы питания. Повышение содержания меди в почве до оптимального уровня благоприятствовало развитию репродуктивных органов: суммарное количество цветков и бобов по сравнению с контролем удвоилось. При этом медь, ускоряя прохождение фенофаз, способствовала формированию бобов (рис. 2). С ростом концентрации меди в почве до благоприятных пределов соотношение между числом сформировавшихся бобов и количеством цветков к моменту уборки возросло с 0.5 до 1.3. При избытке меди количество репродуктивных органов уменьшилось до уровня контроля.

Сравнительный анализ продуктивности трав в двух экспериментах позволил установить снижение токсического действия меди со временем. Спустя шесть лет на делянках с максимальным загрязнением, на которых всходы полностью отсутствовали, продуктивность гороха была выше, чем в контроле, а по злаковому компоненту составила 25-30 % контрольной величины. Содержание меди в биомассе гороха в контроле было низким (3.2 мг/кг), недостаточным для животных [4]. Возрастание количества меди в почве

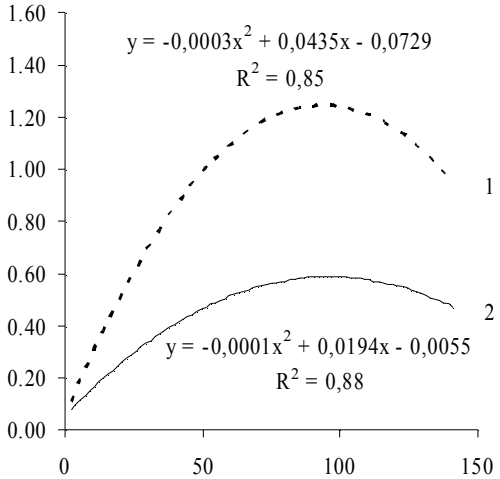


Рис. 1. Влияние меди на продуктивность однолетних трав: горох (1), овес (2).
По оси абсцисс – содержание меди (1 М HCl), мг/кг.
По оси ординат – масса одного растения, г.

способствовало обогащению биомассы гороха до необходимых пределов, равных 10-20 мг/кг сухого корма [3]. Установлена степенная зависимость между содержанием меди в горохе и количеством ее в 1 М HCl ($y = 2.41x^{0.48}$) и в а.а.б. ($y = 5.50x^{0.34}$). Поглощение меди горохом с ростом концентрации элемента в почве увеличивалось более медленными темпами, чем содержание в почве. Количество меди в наземной массе овса возросло линейно с 3.7 до 15.0 мг/кг.

Медь по А.И. Перельману [5] является элементом среднего поглощения: коэффициент биологического поглощения (КБП) находится в пределах от 0.1 до 1. Величина его связана с содержанием элемента в почве (рис. 3). Зависимость между КБП и содержанием меди в почве степенная с отрицательным значением степени, более тесная в отношении овса. Характер изменений свидетельствуют о том, что содержание меди в растениях возрастало непропорционально с изменениями в почве. Достаточное ее количество в почве, а тем более избыток, приводили к снижению КБП, а дефицит элемента – к росту. Возникший с ростом концентрации меди дисбаланс между элементами расстроил избирательность поглощения. Повышенные концентрации меди способствовали поступлению свинца и особенно кадмия ($r = 0.74$, $P < 0.01$) в горох, но в то же время снизили количество цинка ($r = -0.87$, $P < 0.001$), кобальта ($r = -0.89$, $P < 0.001$). В овсе параллельно с ростом количества меди увеличилось содержание свинца ($r = 0.75$, $P < 0.01$) и никеля ($r = 0.92$, $P < 0.001$). По сравнению с контролем был выше уровень кадмия. Изменения в поступлении элементов в растения, с одной стороны, могли усугубить токсические проявления, с другой – оказать стабилизирующее действие, выступая в качестве защитных механизмов к избытку меди. Снижение содержания цинка и кобальта также происходило вследствие «ростового разбавления» в увеличившейся биомассе.

На основе связей между содержанием меди в почве, поступлением элемента в растения и продуктивностью трав мы попытались определить границы загрязнения подзолистых почв при возделывании кормовых культур, учитывая при этом особенности растений. В основу нормирования мы положили содержание меди, в том числе и подвижных форм, в почве, не вызывающее снижение продуктивности растений более 10 % от максимальной и гарантирующее ненакопление ее в товарной части продукции сверх максимально допустимого уровня (МДУ). Применение меди в дозе от 5 до 10 кг/га (1.7-17.0 мг/кг) не вызвало негативных изменений ни по толерантному, ни по транслокационному параметрам. Валовое содержание меди в почве более 148 мг/кг для гороха и 79 мг/кг для овса превысило порог толерантности. При возделывании трав в совместном посеве валовое содержание меди не должно быть выше 79 мг/кг, что несколько ниже ПДК (100 мг/кг) и выше ОДК (66 мг/кг для кислых суглинистых почв). Концентрация меди в солянокислой вытяжке не должна превышать 120, в а.а.б. – 70 мг/кг. Накопление меди в биомассе трав сверх МДУ (30 мг/кг) в пределах смоделированных концентраций не установлено. Реакция растений на свежее загрязнение была более значимой. Учитывая снижение биодоступности металлов в почвах со временем, следует использовать разные нормативы для свежего загрязнения (одновременной дозы) и их повышенных концентраций в устоявшихся системах.

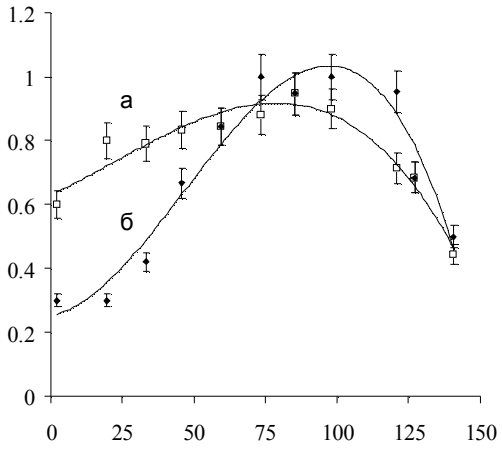


Рис. 2. Влияние меди на формирование репродуктивных органов гороха (в качестве погрешностей приведено стандартное отклонение).
По оси абсцисс – содержание меди (1 М HCl), мг/кг.
По оси ординат – количество цветков (а) и бобов (б).

Таким образом, загрязнение изменило равновесие между содержанием меди в твердой фазе почвы и почвенном растворе, увеличив с повышением уровня относительное количество подвижных форм. На поведении меди в системе почва–растение отразились специфика культур и содержание элемента в почве. Возрастание содержания меди до оптимального уровня выражалось в устойчивом повышении биомассы трав и улучшении их микроэлементного состава. При превышении оптимума произошло снижение продуктивности и избыточное накопление элемента. Подход к изучению физиологически значимых элементов питания должен вестись с двух позиций: как необходимых микроэлементов, так и потенциальных загрязнителей агроландшафтов с регламентацией их количества. При нормировании необходимо учитывать показатели толерантности, транслокации и давности загрязнения.

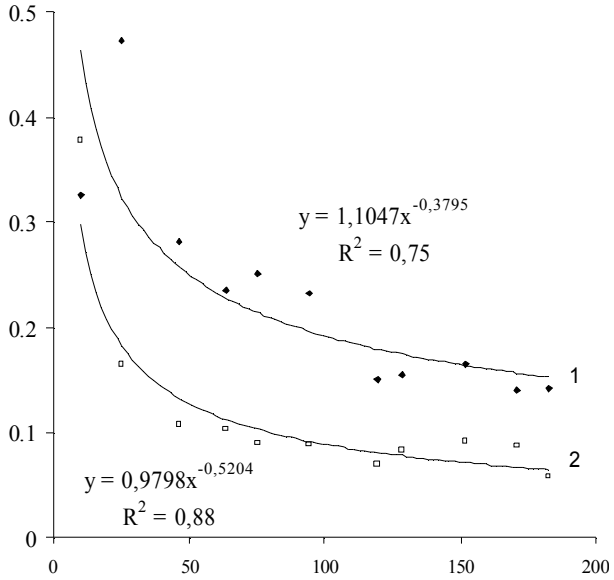


Рис. 3. Зависимость между содержанием меди в почве и поступлением ее в однолетние травы: горох (1) и овес (2).
По оси абсцисс – валовое содержание меди в почве, мг/кг.
По оси ординат – коэффициент биологического поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зырин Н.Г., Каплунова Е.В., Сердюкова А.В.* Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва–растение // Химия в сельском хозяйстве, 1985, № 6. С. 45-48.

2. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

3. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в

почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

4. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.

5. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.

6. *Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф.* Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 5. Экотоксилогические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. Пущино, 2001. 148 с.

7. *Школьник М.Я.* Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 323 с.

8. *Kovalcky V.V.* Biogeochemical regulation. Local biogeochemical dynamics in the biosphere // Biogeochemistry and geochemical ecology. Moscow, 2001. P. 13-29. – (Ecology and the biogeochemical study of taxons of the biosphere).

9. Macro, trace and ultratrace element intake depending on the geological origin of the habitat, time, sex and form diet / *M. Anke , M. Glei , R. Muller* et al. // Biogeochemistry and geochemical ecology. Moscow, 1999. P. 235-263.

10. Trace metal interactions in corn inbred differing in efficiency of Mg uptake / *A. Wallace, T. Kawasaky, E.M. Romney* et al. // J. Plant Nutr., 1980. Vol. 2. № 1-2. P. 231-235. ❖

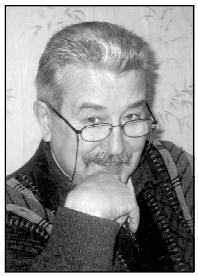
ИЗУЧЕНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНОСТИ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ ГЕЛЬ-ХРОМАТОГРАФИИ

к.б.н. **Е. Лодыгин**
с.н.с. отдела почвоведения

Научные интересы: *химия гумусовых веществ, физико-химические методы исследования, экология*

д.с.-х.н. **В. Безносиков**
зав. лабораторией
химии и экологии почв
E-mail: beznosikov@ib.komisc.ru
тел. (8212) 24 51 15

Научные интересы:
экология и химия почв



Молекулярная масса (ММ) – фундаментальная характеристика гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), которая определяет растворимость, их способность к миграции в природных экосистемах, возможность поглощения микроорганизмами и высшими растениями [6]. В отличие от простых органических веществ, характеризующихся единственным значением ММ, гумусовые кислоты полидисперсны, т.е. обладают широким набором молекулярных масс. Поэтому их характеризуют молекулярно-массовым распределением (ММР), на основании которого рассчитывают среднюю ММ [7, 21, 24]. Изучение ММР гуминовых и фульвокислот необходимо для выяснения их роли в процессах почвообразования, взаимодействия с минеральными соединениями, в создании агрохимически ценных почвенных агрегатов. Последнее позволяет понять процессы формирования почвенного плодородия.

Гель-хроматография является эффективным методом разделения, очистки и анализа природных и синтетических соединений. Этот метод отличается простотой технических приемов и оборудования и весьма мягкими условиями разделения. Гель-хроматография за последние десятилетия получила широкое распространение в медицине, биологии, биохимии и почвоведении. С ее помощью разделяют и исследуют самые различные объекты: животные и растительные белки, углеводы, нуклеиновые кислоты и их компоненты, ферменты, почвенные гумусовые кислоты. Гель-хроматография находит все большее применение при исследовании органического вещества почвы, в том числе «неспецифических» – почвенные углеводы, липиды, аминокислоты, нуклеиновые кислоты, пигменты и пр. [17, 18] и «специфических» компонентов – гуминовых и фульвокислот [11-15].

Развитие химии высокомолекулярных соединений и появление новой аналитической техники позволило выявить, что ММ ФК близки к 10-15 kDa (1 Da = 1 а.е.м.), а ГК – от 20-30 до 100-150 kDa. В начале 80-х годов XX в. было показано, что крупные частицы ГК могут изменяться под влиянием детергентов и комплексонов, которые разрушают сложные ассоциаты молекул, снижая их средние ММ. Характеристике молекулярной массы ГК посвящено немало работ, но, несмотря на это, данная проблема остается дискуссионной, одной из причин чего являются разные подходы к изучению ММР. В обзорах указывается на очень большой диапазон ММ, которые можно разделить на две группы: от несколько сотен до 10-12 kDa и от 10-20 до 100-200 kDa [1, 13, 17]. Для объяснения столь резких колебаний Л.Н. Александрова [1] предложила различать молекулярную и мицеллярную (масса частицы) массу ГК. Ею было показано, что группировки величин ММ связаны с методами их определения и, следовательно, со способами усреднения величин. Химические методы дают, как правило, для ГК величины порядка 1.3-13 kDa. Методы осмометрии, криоскопии, диффузии и вязкости – величины порядка 0.7-26 kDa, а для ФК – 0.2-0.3 kDa [3, 20], методы ультрацентрифугирования, ультрафильтрации и светорассеяния – 30-80 kDa [22]. Зависимость результатов измерений от применяемого метода объясняется полидисперсностью ГК. Важное значение при определении ММР имеют агрегативная устойчивость, зольность ГК, значение pH и ионная сила [11, 12, 16]. Сравнение опубликованных данных затрудняется также неидентичностью методов выделения препаратов [5].

Представления о структуре и свойствах гуминовых кислот были получены в большинстве случаев на основе изучения препаратов без предварительного фракционирования. Оценки физико-химических параметров являются, таким образом, усредненными и, возможно, что эта «средняя» ГК представляет собой смесь нескольких принципиально различных молекулярных структур. Вероятно также, что при изучении выделенных стандартным методом препаратов ГК одновременно исследуются и механические примеси, например, белки, полисахариды и лигнины, следовательно, в какой-то мере структурные формулы и ММР ГК являются искаженными. Боль-

шинство исследователей указывают на закономерное изменение свойств отдельных фракций ГК в зависимости от элементного состава, качественного и количественного состава аминокислот, количества кислых функциональных групп и оптических свойств. Однако обнаруживаемые закономерности имеют разную направленность. Такие важнейшие свойства ГК, как биохимическая устойчивость и биологическая активность также в большинстве случаев обнаруживают связь с величинами ММ, но и для данных параметров общих закономерностей к настоящему времени не получено. В настоящее время изучение химических и спектрометрических характеристик ГК и ФК проводят после их предварительного фракционирования по ММ [10, 11, 19, 23].

Целью исследования настоящей работы было установление оптимальных условий хроматографирования и изучение ММР препаратов ГК и ФК почв.

Объекты исследования – целинные подзолистые, болотно-подзолистые и пахотные подзолистые почвы, сформированные на покровных суглинках.

Препараты ГК и ФК были выделены по методике М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой [4]. Экстракцию ГК и ФК проводили из воздушно-сухих образцов почв (после извлечения липидной фракции спирто-бензольной азеотропной смесью) путем двукратной экстракции смесью 0.1 М NaOH и 0.1 М $Na_4P_2O_7$ (соотношение почва:раствор 1:10). Далее к щелочному экстракту добавляли насыщенный раствор Na_2SO_4 (20 % от объема экстракта) для коагуляции коллоидных частиц и центрифугировали в течении 2 ч при 5000 об./мин. ГК осаждали в очищенном экстракте постепенным добавлением 10 %-ного раствора H_2SO_4, доводя pH раствора до 2. ФК очищали на активированном угле (марка АГ-3) по Форситу и обессоливали пропусканием через катионит КУ-2 в H^+-форме. Очищенные препараты ГК и ФК переносили в фарфоровые чашки и сушили в сушильном шкафу при температуре 40 °С. Гель-хроматографирование препаратов ГК и ФК проводили на гелях сефадекс G-25 и G-100 с непрерывной автоматической регистрацией оптической плотности элюата (λ = 280 нм) в проточной кварцевой кювете, колонка К 9Ч60 см (Pharmacia, Швеция), объем аликвоты растворов ФК и ГК 200 мкл, чувствительность фотометра ABS = 0.05, скорость элюирования 3 см³/ч, скорость диаграммной ленты самописца 1 см/ч. В качестве элюата использовали Tris-HCl-буфер с pH 8.2. Определение рабочей области геля G-100 проводили с использованием водных растворов голубого декстрана и бихромата аммония с концентрацией 1 мг/см³. Площади пиков определяли методом взвешивания. В качестве растворителя и элюирующего раствора были использованы дистиллированная вода и 0.05 М раствор NaOH.

Результаты исследований показали, что хроматограммы ФК разных типов почв в дистиллированной воде и 0.05 М растворе NaOH имеют разную форму: для щелочной среды, как правило, на хроматограммах присутствует один достаточно узкий ярко выраженный пик, а в случае дистиллированной воды хроматограммы размыты в пределах всей рабочей области геля и на них слабо обозначены два пика. Положения единственного пика на хроматограммах для щелочного и первого пика для нейтрального элюентов практически совпадают и близки объему выхода голубого декстрана, а вто-

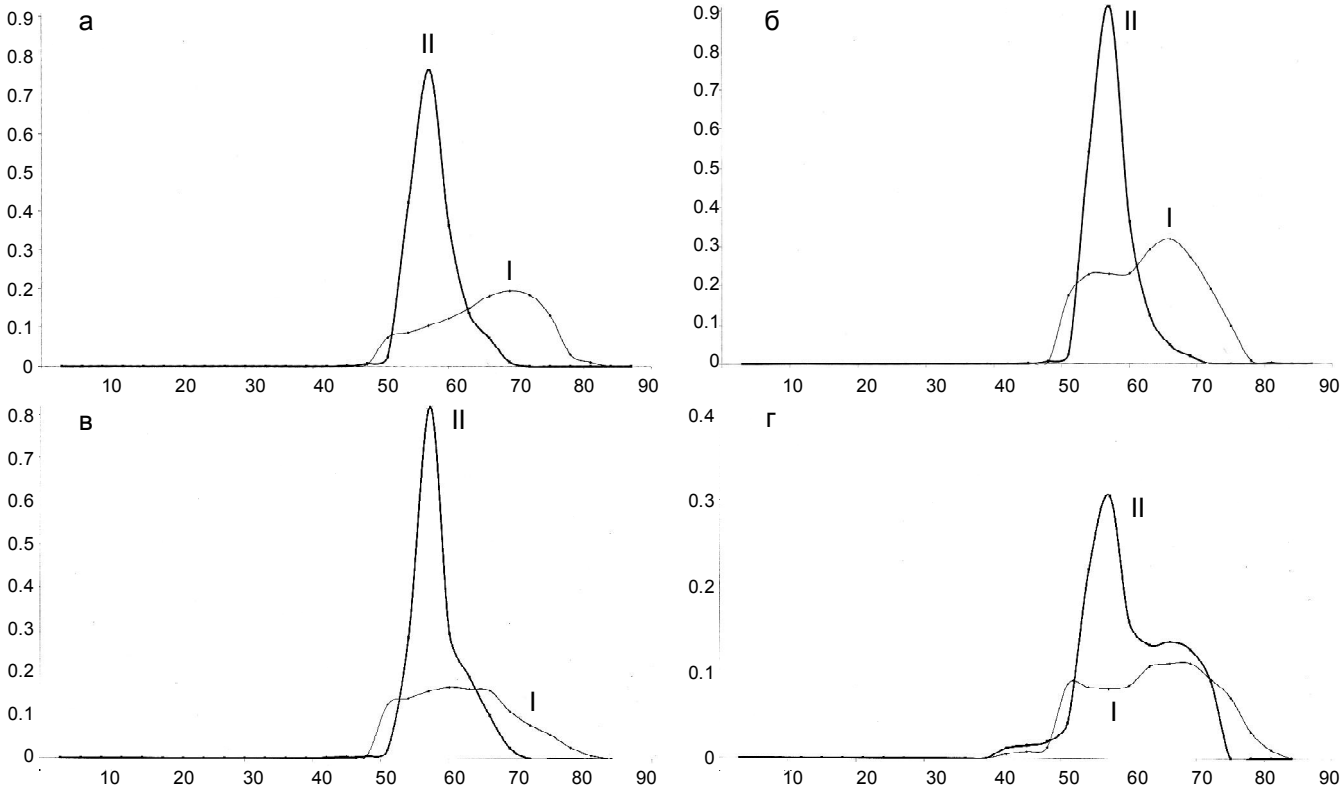


Рис. 1. Гель-хроматограммы препаратов фульвокислот из горизонтов A_0 (а) и A_2 (б) типичной подзолистой, A_0 (в) и A_2g (г) глееподзолистой почв на геле сефадекс G-25. Элюенты: дистиллированная вода (I), 0.1 М NaOH (II).

рой смещен в область больших объемов элюата (рис. 1).

При гель-хроматографическом фракционировании, основанном на различии в размерах молекул, наблюдаемые формы хроматограмм для одних и тех же препаратов ФК могут быть интерпретированы с точки зрения различного характера существования молекул ФК при различных значениях pH. В работах И.С. Сироткиной с соавт. [8] и Г.М. Варшал с соавт. [2] рост высокомолекулярного максимума по мере смещения pH элюента в щелочную область авторы объясняют ассоциацией ФК, приводящей к уменьшению времени их удерживания. Этот же эффект объясняется изменением конформации молекул ФК при различных pH: до достижения pK_a карбоксильных групп ФК – 4.3-4.7 – их молекулы в растворе имеют форму статистических клубков, которая изменяется по мере увеличения pH вследствие электростатического отталкивания ионизированных карбоксильных групп, приводя к увеличению линейных размеров молекул [9]. Кроме того, в области высоких значений pH 9-13 на форму хроматограмм помимо конформационных процессов может оказывать влияние эффект «сверх-эксклюзии», так как сефадекс приобретает частичный отрицательный заряд. При этом высокозаряженные полианионы ФК «выталкиваются» матрицей геля, снижая их время удерживания.

Таким образом, можно сделать заключение о возможности использования полученных гель-хроматограмм для установления ММР в препаратах ФК. В случае щелочного элюента использование геля G-25 неэффективно: препараты фульвокислот не фракционируются (монодисперсность препаратов ФК маловероятна) и выходят одним узким пиком, смещенным в высокомолекулярную область, что может быть связано как с эффектом «сверх-эксклюзии», так и с ассоциацией ФК, а также и с увеличением их линейных размеров, что приводит к кажущемуся увеличению молекулярных масс ФК. Если принять последний фактор, то в этих условиях можно добиться фракционирования ФК, используя гель другой марки, например, G-50, G-75. В среде, близкой к нейтральной, молекулы ФК слабо ассоциированы и имеют одинаковую форму статистических клубков, размеры которых зависят от молекулярной массы, нет их специфической сорбции на поверхности матрицы геля за счет образования водородных связей и отсутствует эффект «сверх-эксклюзии». Подобные условия существования ФК в растворе являются наиболее приемлемыми для определения ММР методом гель-хроматографирования. Использование дистиллированной воды в качестве элюента дало возможность получить слабо выраженные признаки частичного разделения ФК на геле G-25 на две фракции, что позволило в первом приближении сравнить качественный и количественный состав препаратов ФК подзолистых и глееподзолистых почв.

В качестве критерия вклада фракций в ММР принимали процентное соотношение площадей под участками кривой элюирования, соответствующих различным фракциям. Поскольку на полученных нами хроматограммах полного фракционирования ФК нет, то проводили разделение пиков двух фракций I и II. Правое плечо первого пика в области V_0 (фракция I) изображали как симметричное отражение левого относительно вертикали, проходящей через его максимум. Левое плечо второго пика (фракция II) получали как разность между оптической плотностью элюата и оптической плотностью правого плеча первой фракции при одинаковых объемах элюата. Положение максимума первого пика на всех хроматограммах близко к объему выхода голубого декстрана, поэтому средняя молекулярная масса первой фракций ФК более 5 kDa. Результаты ММР для препаратов ФК подзолистых и глееподзолистых почв (табл. 1) показывают, что содержание низкомолекулярной фракции во всех препаратах ФК в 2.5-3 раза выше, чем высокомолекулярной.

ММР ФК, выделенных из глееподзолистой почвы, показало, что доля низкомолекулярной фракции ФК равномерно увеличивается вниз по профилю. В подстилке за счет деятельности микроорганизмов происходит деструкция растительных остатков с последующим образованием гуминовых веществ, из которой легкорастворимые в воде низкомолекулярные фракции ФК мигрируют вниз по профилю почвы, что приводит соответственно к увеличению их относительного содержания в подзолистом горизонте по сравнению с высокомолекулярной фракцией ФК. По профилю типичной подзолистой почвы содержание низкомолекулярной фракции ФК уменьшается, что, по-видимому, связано с относительным ослаблением массообмена между горизонтами вследствие меньшего увлажнения. Сопоставление ММР ФК типичной подзолистой и глееподзолистой почв показывает, что в горизонте A_0 типичной подзолистой почвы доля низкомолекулярной фракции несколько выше, чем в глееподзолистой почве, а в нижележащем подзолистом горизонте относительное содержание фракций практически совпадает. Данный факт может быть объяснен спецификой растительного опада, гидротермическими и микробиологическими особенностями формирования фульвокислот в исследуемых почвах.

Таблица 1

Средние молекулярные массы I (*верхняя строка*) и II (*нижняя строка*) фракций фульвокислот и их содержание (G-25, элюент – дистиллированная вода)

Горизонт (глубина, см)	M, kDa	Массовая доля, %
Типичная подзолистая почва		
A_0 (0-5)	>5.0	23.2
	1.2	76.8
A_2 (7-10)	>5.0	30.4
	1.6	69.6
Глееподзолистая почва		
A_0 (0-5)	>5.0	36.0
	2.2	64.0
A_2g (5-10)	>5.0	28.0
	1.6	72.0

Гель-хроматограммы ГК для горизонтов A_0 и A_2 типичной подзолистой почвы имеют три максимума, соответствующие трем фракциям ГК (рис. 2). Положения пиков практически совпадают, а их площади разные, что свидетельствует не только о равенстве средних молекулярных масс соответствующих фракций, но об их различном относительном содержании в исследуемых образцах. Для обоих горизонтов (A_0 и A_2) типичной подзолистой почвы характерно высокое содержание 60-70 % низкомолекулярной фракции ГК с молекулярными массами 16-17 kDa, доли средних фракций (80 kDa) практически совпадают 16-17 %, а доля высокомолекулярных фракций (>150 kDa) в верхнем горизонте A_0 в 1.5-2 раза выше, чем в горизонте A_2 (табл. 2). На наш взгляд, различие объясняется тем, что в ГК горизонта A_0 относительно велика доля прогуминовых кислот. ГК, выделенные из торфянисто-подзолисто-глееватой почвы, отличаются от ГК подзолистой почвы относительно высоким содержанием фракции с молекулярной массой 73 kDa, что свидетельствует о низкой биологической активности гидроморфных болотно-подзолистых почв по сравнению с автоморфными подзолистыми. Это приводит к накоплению в торфянисто-подзолисто-глееватой почве средней фракции ГК, представленной слабогумифицированными соединениями.

При сравнении данных о структуре ГК целинных и пахотных подзолистых почв следует отметить резкое увеличение доли высокомолекулярной фракции ГК в пахотной почве в 2-4 раза. Это объясняется тем, что при сельскохозяйственном освоении резко меняется природа поступающих растительных остатков по сравнению с целинными аналогами, а также вносятся органические удобрения, и в частности, торфо-навозные компосты, чьи гумусовые вещества обогащены новообразованными гуминовыми кислотами, возникающими за счет окисления растительных остатков. Кроме того, освоение почв усиливает микробиологическую активность, что в свою очередь приводит к усилению процессов гумификации и образованию более зрелых биотермодинамически устойчивых ГК, имеющих большую молекулярную массу и обеспечивающих повышение плодородие почв.

Таблица 2

Средние молекулярные массы I (*первая строка*), II (*вторая строка*) и III (*третья строка*) фракций гуминовых кислот и их относительное содержание (G-100, элюент – Tris-HCl-буфер, pH 8.2)

Горизонт (глубина, см)	M, kDa	Массовая доля, %
Типичная подзолистая		
A_0 (0-5)	>150	21.29
	80.2	15.81
	16.7	62.90
A_2 (7-10)	>150	13.02
	80.2	17.36
	16.4	69.62
Торфянисто-подзолисто-глееватая		
A_2hg (12-20)	>150	9.83
	73.2	26.8
	13.4	63.37
Пахотная подзолистая		
$A_{пах}$ (0-30)	>150	39.97
	78.7	13.46
	22.8	46.57

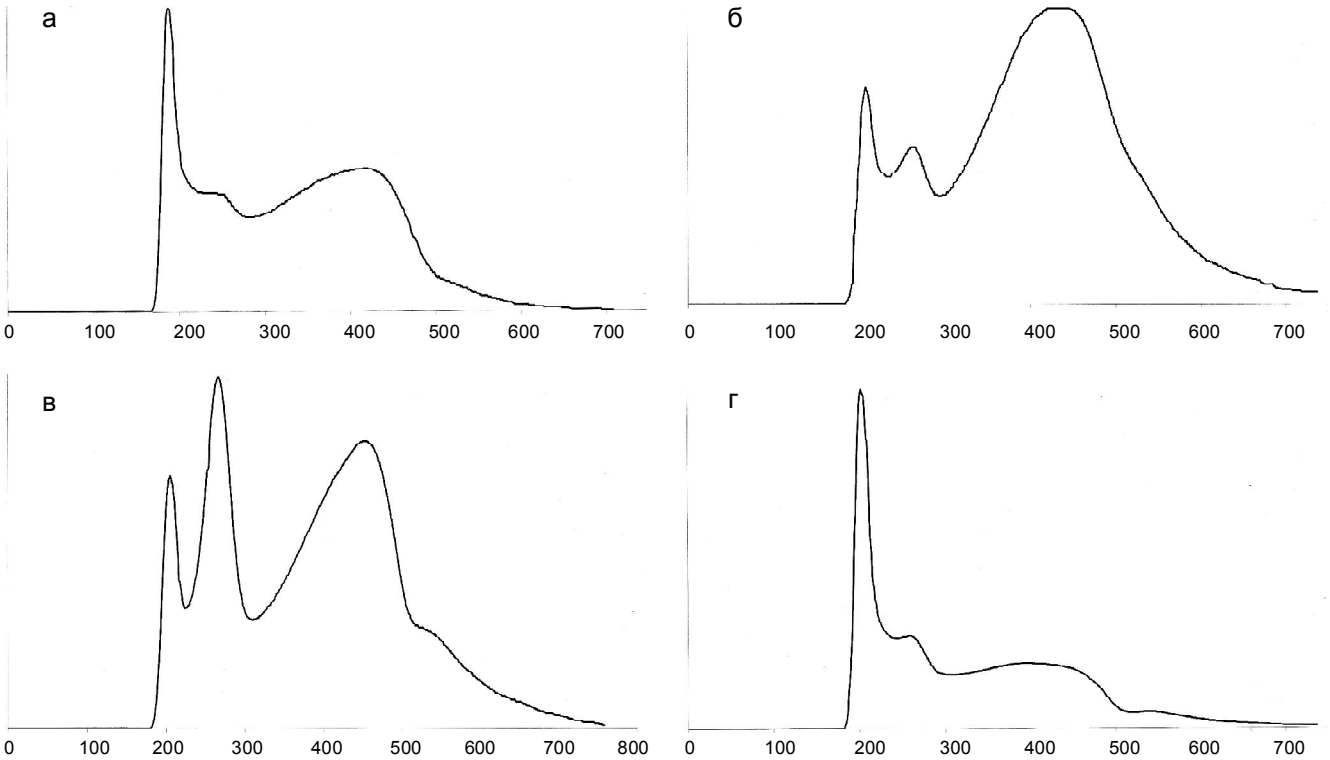


Рис. 2. Гель-хроматограммы препаратов гуминовых кислот из горизонтов A_0 (а) и A_2 (б) типичной подзолистой, A_2hg (в) торфянисто-подзолисто-глееватой и $A_{пах}$ (г) пахотной подзолистой почвы на геле сефадекс G-100. Элюент – Tris-HCl-буфер, pH 8.2.

Таким образом, в результате проведенной работы установлены оптимальные условия хроматографирования препаратов гумусовых веществ, исследовано ММР препаратов ГК и ФК, выделенных из подзолистых, глееподзолистых и торфянисто-подзолисто-глееватых почв. Полученные данные свидетельствуют, что ГК содержат три фракции с разной молекулярной массой: ≥150 kDa, 73-80 kDa и 13-23 kDa; ФК – две фракции: ≥5 kDa, 1-2 kDa. Невысокая молекулярная масса ФК почв способствует их лучшей растворимости и миграционной способности по сравнению с ГК. Гуминовые кислоты гидроморфных почв характеризуются более высоким содержанием суммы низко- и среднемолекулярных фракций, чем в ГК подзолистых почв, что способствует разложению почвенных минералов и усилению подзолообразовательного процесса. Оценено влияние сельскохозяйственного использования почв на фракционный состав гумусовых соединений. Отмечено резкое увеличение доли высокомолекулярной фракции в препаратах ГК пахотной подзолистой почвы в 2-4 раза по сравнению с ГК целинных подзолистых почв, что обусловлено окультуренностью пахотного горизонта, природой поступающих растительных остатков и повышенной микробиологической активностью освоенных почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова Л.Н.* Современные представления о природе гумусовых веществ и их органо-минеральных производных // Проблемы почвоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 52-57.

2. *Варшал Г.М., Инцкирвели Л.Н., Сироткина И.С.* Об ассоциации фульвокислот в водных растворах // Геохимия, 1975. № 10. С. 1581-1585.

3. *Карпухин А.И., Фокин А.Д.* Применение гелевой хроматографии для определения ММ фульвокислот // Изв. ТСХА, 1970. Вып. 5. С. 86-89.

4. *Кононова М.М., Бельчикова Н.П.* Ускоренные методы определения состава гумуса // Почвоведение, 1961. № 10. С. 75-87.

5. Молекулярные веса, размеры и конфигурация гуминовых кислот / *Д.С. Орлов, Я.М. Аммосова, Г.И. Глебова* и др. // Почвоведение, № 11. 1971. С. 43-58.

6. *Орлов Д.С.* Химия почв М.: Изд-во МГУ, 1992. 335 с.

7. (Развитие предикативной модели...) Development of a predictive model for calculation of molecular weight of humic substances / *I.V. Perminova, F.H. Frimmel, D.V. Kovalevskii* et al. // Water Res., 1998. Vol. 32. P. 872-881.

8. *Сироткина И.С., Загудаева Н.С., Варшал Г.М.* Хроматографическое разделение органических веществ речных вод на сефадексах // Гидрохимические материалы, 1973. С. 153-157.

9. *Чимитдоржиева Г.Д., Вишнякова О.А., Егорова Р.А.* Гуминовые кислоты – основной показатель видового разнообразия почвенных экосистем // Сохранение биологического разнообразия в Байкальском регионе: проблемы, подходы, практика. Улан-Удэ, 1996. Т. 2. С. 89-90.

10. *Abbt-Braun G., Lankes U., Frimmel F.H.* Structural characterization of aquatic humic substances – the need for a multiple method approach // Aquat. Sci., 2004. Vol. 66. P. 151-170.

11. *Aster B., Burba P., Broekaert J.A.C.* Analytical fractionation of aquatic humic substances and their metal species by means of multistage ultrafiltration // Fresenius J. Analytic. Chem., 1996. Vol. 354. P. 722-728.

12. *Baalousha M., Motelica-Heino M., Coustumer P.L.* Conformation and size of humic substances: Effects of major cation concentration and type, pH, salinity, and residence time // Colloids and surfaces. Pt. A: Physicochem. Eng. Aspects, 2006. Vol. 272. P. 48-55.

13. Characterization of groundwater humic and fulvic acids of different origin by GPC with UV/Vis and fluorescence detection / *R. Artinger , G. Buckau, J.I. Kim* et al. // Fresenius J. Analyt. Chem., 1999. Vol. 364. P. 737-745.

14. Chemical and structural evolution of humic acids during organic waste composting / *M.A. Sanchez-Monedero, J. Cegarra, D. Garcia* et al. // Biodegradation, 2002. Vol. 13. P. 361-371.

15. Complexation capacity of dissolved organic matter from pig slurry: a gel filtration and dialysis study / *M. Businelli, R. Altieri, P.L .Giusquiani* et al. // Water, air and soil pollution, 1999. Vol. 113. P. 385-394.

16. *Conte P., Piccolo A.* High pressure size exclusion chromatography (HPSEC) of humic substances: Molecular sizes, analytical parameters, and column performance // Chemosphere, 1999. Vol. P. 517-528.

17. *Conzonno V.H., Cirelli A.F.* Interaction between humic substances and carbohydrates in a Pampasic pond (Argentina) // Hydrobiologia, 1998. Vol. 379. P. 169-174.

18. Direct chiral resolution and its application to the determination of fungicide benalaxyl in soil and water by high-performance liquid chromatography / *D. Liu, P. Wang, W. Zhou* et al.// Analyt. Chim. Acta, 2006. Vol. 555. P. 210-216.

19. Interaction of formaldehyde with soil humic substances: separation by GFC and characterization by ^{1}H-NMR spectroscopy / *C.M. Cooke, N.J. Bailey G., Shaw*et al. // Bull. Environm. Contam. Toxicol., 2003. Vol. 70. P. 761-768.

20. *Kawahigashi M., Sumida H., Yamamoto K.* Size and shape of soil humic acids estimated by viscosity and molecular weight // J. Colloid and Interface Sci., 2005. Vol. 284. P. 463-469.

21. Molecular size of aquatic humic substances / *E.M. Thurman, R.L. Wershaw, R.L. Malcolm* et al. // Organic. Geochem., 1982. Vol. 4. P. 27-35.

22. Morphological analyses of natural organic matter (NOM) fouling of low-pressure membranes (MF/UF) / *N. Lee, G. Amy, J.-P. Croue* et al. // J. Membrane Sci., 2005. Vol. 261. P. 7-16.

23. *Peuravuori J., Pihlaja K.* Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances // Analyt. Chim. Acta. 1997. Vol. 337. P. 133-149.

24. *Specht C.H., Kumke M.U., Frimmel F.H.* Characterization of NOM adsorption to clay minerals by size exclusion chromatography // Water Res., 2000. Vol. 34. P. 4063-4069. ❖

КОНФЕРЕНЦИИ

ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО ГЛОБАЛЬНОМУ ИЗМЕНЕНИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОТКРЫТАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЯМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

к.б.н. **Д. Каверин**

С 5 по 8 ноября 2006 г. я принял участие во Второй международной конференции молодых ученых по глобальному изменению окружающей среды в г. Пекин (Китайская Народная Республика). Конференция проходила в научном корпусе Китайской метеорологической администрации. В научном мероприятии приняло участие 100 молодых ученых из Австралии, Бельгии, Бразилии, Великобритании, Венесуэлы, Германии, Индии, Испании, Канады, Кении, Китая, Кореи, Кубы, Монголии, Норвегии, Пакистана, России, США, Танзании, Франции, Чили, Эфиопии, Японии (фото 1). Россию представили три научных сотрудника из Сыктывкара, Красноярска и Черского. Конференция была организована START (Система анализирования, исследования и изучения глобальных изменений, http://www.start.org/) и Китайской метеорологической администрацией. Мое участие в конференции было поддержано программой START и трэвел-грантом президиума УрО РАН.

Основная цель конференции – стимулировать исследования в сфере глобальных изменений окружающей среды, привлечь молодых исследователей к научному общению на международном уровне. В ходе работы молодежной конференции рассматривались следующие направления:

– вариабельность наземных экосистем и моделирование;

– океанические, пресноводные и прибрежные экосистемы;

– наземные экосистемы и биоразнообразие;

– биогеохимические циклы, криосферные исследования;

– уязвимость антропогенных экосистем;

– глобальные изменение и сельское хозяйство.

Глобальные изменения окружающей среды относятся к изменениям, затрагивающим физические, химические и биологические процессы, которые во взаимодействии регулируют общепланетарную систему. Антропогенная деятельность сама по себе вызывает глобальные изменения и связанные с ней социальные последствия. Глобальные изменения включают в себя изменения, оказывающие влияние на функционирование глобальной системы в целом, и локальные изменения среды, в совокупности оказывающие значительное воздействие на состояние природных ресурсов. Системные глобальные изменения, иллюстрируются, к примеру, последствиями эмиссии парниковых газов и озонразрушающих компонентов в стратосфере. «Совокупные» глобальные изменения иллюстрируются широко распространенными региональными проблемами, такими как истощение запасов грунтовых вод, сведение лесов и исчезновение видов, затрагивающих большую часть мировых запасов подземных вод, лесов или биологического разнообразия.

Молодые ученые представили 130 устных и постерных докладов, посвященных глобальным изменениям среды. Значительная серия докладов была посвящена изменению климата в Восточной Азии. В регионе происходит повышение температуры, при этом количество осадков остается на прежнем уровне. В последние годы эмиссия углерода в Китае резко увеличилась и составляет около 16 % мировой эмиссии CO_2. Эмиссия углерода к 2020 г. в Азии превысит совокупные выбросы углекислого газа Европы и США.

Во внутриконтинентальных районах Азии происходит аридизация климата и деградация почвенного покрова. Ученые выделяют четыре основные зоны в Восточной Азии, наиболее подверженные риску: прибрежные, горные, полуаридные и густонаселенные районы. Деградация почв и опустынивание приводят к истощению водных ресурсов, развитию пыльных бурь. В горах происходит интенсивная деградация ледников (Гималаи, Гиндукуш, Тибетское плато). В горах гумидных регионов наблюдается увеличение вегетационного периода.

В тропических регионах зафиксировано повышение температуры поверхностных вод, к примеру, воды в Саргассовом море потеплели на 1.5-2.0 °С. В связи с потеплением увеличивается содержание органического вещества в арктических водах. С одной стороны, это связано с оттаиванием мерзлоты на континенте, с другой – с сокращением площади ледового покрова в океане и продолжающимся увеличением поступающего ультрафиолетового излучения в этом регионе.

В докладах было заявлено, что лидерами по загрязнению окружающей среды постепенно становятся развивающиеся страны. По прогнозам именно страны третьего мира будут основными загрязнителями окружающей среды по причине быстрого подъема экономики и растущего населения. Однако, в настоящее время эти страны не обладают достаточными средствами и технологиями, направленными на улучшение экологической ситуации. В связи с этим именно развитые страны мира должны вкладывать средства в экологическую безопасность развивающихся стран и, соответственно, мира в целом.

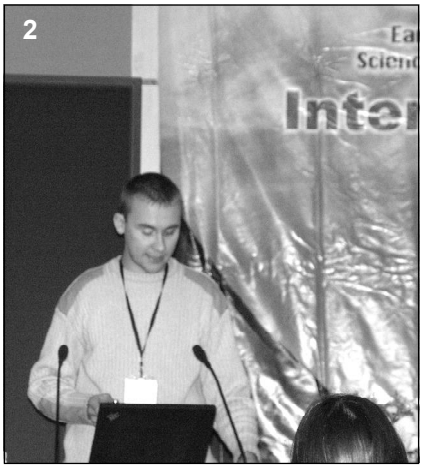
1

На конференцию я представил (в соавторстве с Г.Г. Мажитовой) постерный доклад на тему «Локальные процессы, связанные с увеличением сезонно-талого слоя» (фото 2), который был посвящен динамике опускания поверхности мерзлоты и поверхностной просадке тундровых мерзлотных почв при увеличении мощности сезонно-талого слоя на примере данных площадки CALM. За период наблюдений установлено, что увеличение мощности СТС происходит непрерывно с 1997 г., что коррелирует с возрастанием среднегодовой температуры и сумм годовых положительных температур воздуха.

Молодежная конференция предшествовала проходившей с 9 по 12 ноября второй Открытой научной конференцией по глобальным изменениям окружающей среды, организованной ESSP (Научное партнерство по системным исследованиям Земли, http://www.essp.org/). Создание ESSP как научного партнерства между четырьмя мировыми исследовательскими программами DIVERSITAS (Международная программа по биоразнообразию), IGBP (Международная программа Геосфера-Биосфера), IHDP (Международная программа «Аспекты человеческой деятельности и глобальные изменения») и WCRP (Программа исследования мирового климата) было результатом проведения первой Открытой научной конференции, проходившей в 2001 г. в Амстердаме.

Организаторами конференции с китайской стороны являлись Китайский национальный комитет по климату и Китайская метеорологическая администрация. Основными спонсорами конференции стали Международная метеорологическая администрация, Европейский фонд фундаментальных исследований, Национальный фонд фундаментальных исследований (США), Национальная авиационная и космическая администрация (NASA), Проект по глобальному углероду, Межправительственная океанографическая комиссия и др. Председатели оргкомитета конференции: проф. Гордон МакБин (Университет Западного Онтарио, Канада) и проф. Дахе Хин (Китайская метеорологическая администрация).

Конференция проходила в корпусах Пекинского международного делового центра, расположенного на территории «Олимпийской Деревни». В работе конференции приняло участие более 1000 ученых со всего мира. Из России было заявлено около 30 докладов. Все участники молодежной конференции были приглашены в качестве стендовых докладчиков. Участники конференции, представляющие различные направления естественных и социальных наук, обсудили динамику глобальных изменений, результаты влияния антропогенного фактора на нашу планету. В целом во время конференции проходила работа более чем 40 пленарных и параллельных секций, посвященных наиболее актуальным вопросам глобальных изменений: продовольственная безопасность, устойчивое управление водными ресурсами, здоровье человека, биоразнообразие, уровень углекислого газа в мегаполисах. Специальное внимание было уделено ожидаемому изменению климата и его последствиям на региональном уровне (к примеру, в муссонной Азии). Работа секций шла в ключе рассмотрения следующих вопросов:



– Как лучше управлять системами продовольствия для улучшения продовольственной безопасности на фоне глобальных изменений, происходящих на планете?

– Как добиться устойчивого управления ограниченными водными ресурсами на фоне возрастающих потребностей человека с целью предотвращения водного кризиса в будущем?

– Как условия изменяющейся окружающей среды влияют на здоровье человека и каким образом мы можем определять это?

– Как влияет изменение климата и увеличение уровня CO_2 на биоразнообразие?

– Что будет с прибрежными территориями?

– Какие шаги мы должны предпринять, чтобы уровень углекислого газа в городах и агломерациях снизился.

ЮБИЛЕЙ

Большая часть творческой деятельности к.б.н. **Иды Ивановны Шуктомовой** связана с Институтом биологии. В этом году ей исполняется 65 лет, 40 из которых она отдала исследованиям количественной оценки межвидового различия в накоплении изотопов тория древесно-кустарниковой и травянистой растительностью и влияния экологических условий на этот процесс.

И.И. Шуктомова ответственно подходит к возложенным на нее обязанностям, является автором более 100 научных публикаций, патентов, руководит дипломными и диссертационными работами сотрудников отдела радиоэкологии, является и.о. зав. лабораторией миграции радионуклидов и радиохимии, аккредитованной в системе САРК. Благодаря активной жизненной позиции, высокой требовательности к своей работе, неистощимой энергии она снискала любовь и уважение своих коллег в Институте биологии и многих научных учреждений России и зарубежья.

Коллектив отдела радиоэкологии желает Вам, Ида Ивановна, творческого долголетия, новых свершений, крепкого здоровья, счастья и благополучия.

– Можем ли мы прогнозировать изменение климата после подписания Киотского протокола?

– Каков риск скачкообразных изменений климата и как возможность экстремальных погодных явлений влияет на адаптационные стратегии?

– Какое воздействие на дальнейшее экономическое и социальное развитие восточной Азии оказывает изменившийся муссонный климат?

Я участвовал в заседании секций, посвященных изменениям природы, происходящим в Арктике. Доклады секции были посвящены динамике криосферы в Арктике. Доклад В.В. Романовского (США) был посвящен деградации плейстоценовой мерзлоты в циркумполярном регионе. Плейстоценовая мерзлота на Аляске и в центральной Сибири сейчас находится в достаточно стабильном состоянии. Однако на южном ее пределе, где температура мерзлоты варьирует от 0 до –1 °С, начинается оттайка. Построенная модель прогнозирует начало интенсивного оттаивания мерзлоты, которое начнется в течение нескольких следующих десятилетий, если потепление климата будет продолжаться нынешними темпами. Не менее интересным был доклад Епштейна (США), посвященный возможной динамике биоклиматических зон Арктики в будущем. Моделирование изменения растительного покрова в Арктике прогнозирует смещение природных зон на север в течение XXI века. Ожидается, что южная кустарничковая тундра уступит место северо-таежным лесам и лесотундре. В итоге возрастет растительная биомасса Арктики, особенно возрастет доля биомассы древесных растений.

На заключительном пленарном заседании было принято официальное заявление, в котором участники конференции по глобальным изменениям окружающей среды подчеркнули, что:

– В эру господства человечества, изменяющего нашу планету в глобальном масштабе, мы обеспокоены продолжающимся неблагоприятным воздействием на окружающую среду, что в конечном итоге создает серьезную угрозу устойчивому развитию самого человеческого общества.

– Принимая во внимание всю важность воздействий на здоровье человека, Пекинская конференция дала начало новому проекту «Глобальное изменения среды и человеческое здоровье».

– Признавая существование проблем, характерных для отдельных регионов, Пекинская конференция инициировала проект по интегрированным региональным исследованиям в муссонной Азии с целью выявить реальные угрозы для человека и природы в этом регионе.

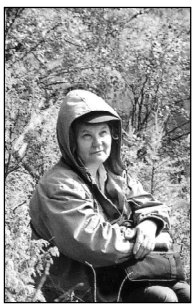
– Мы подтверждаем, что ESSP, его региональные подразделения совместно с START продолжат реализацию совместных проектов по продовольственной безопасности, углероду и водным ресурсам.

– Необходимо создать новое понимание ключевых компонентов земной системы и их динамических взаимодействий, больше обращать внимание на основные проблемы.

– Необходимо взять на себя ответственность мобилизовать знания и предоставить обществу научную информацию для лучшего понимания глобальных проблем и адекватных действий по их решению.

– ESSP убеждает правительства разных стран сотрудничать по этим инициативам, а также предпринимать действия для уменьшения влияния антропогенного фактора на окружающую среду с целью обеспечения гарантий устойчивого развития.

Одним из основных решений конференции было создание нового научно-исследовательского проекта «Воздействие глобальных изменений окружающей среды на здоровье человека», спонсором которого является Мировая организация здравоохранения.



ЮБИЛЕЙ

Людмила Павловна Турубанова является одной из старейших сотрудниц Института биологии. Она пришла в Институт в 1967 г. и совсем недавно, в 2005 г., вышла на пенсию. Как бывает нередко в нашей жизни случайно она узнала, что И.С. Хантимеру нужна помощница, ее взяли в лабораторию геоботаники. А закончила Людмила Павловна сельскохозяйственный техникум по специальности ветеринария. Работая с И.С. Хантимером, она на практике изучала растения. Работа ботаника связана с полевыми экспедиционными поездками, продолжавшимися до трех месяцев. Людмила Павловна оказалась хорошим полевым работником. Работа требовала повышения квалификации, и в 1975 г. она закончила естественно-географический факультет Коми государственного педагогического института. Вникая в научные исследования естественных и сеяных лугов, работая с высококвалифицированными специалистами И.С. Хантимером, Н.С. Котелиной, Людмила Павловна сама становилась энтузиастом-исследователем.

Защита кандидатской диссертации была закономерным научным итогом изучения возможности введения в культуру на Севере канареечника, весьма перспективного для кормопроизводства.

С Людмилой Павловной всегда легко в экспедициях, а продолжала она ездить, активно включившись в хоздоговорные работы.

Людмила Павловна — хорошая мама троих детей, которые все получили высшее образование, добросовестно работают. Теперь уже в большой семье пятеро внуков — два мальчика, три девочки. В семье все поддерживают друг друга.

Дорогой Людмиле Павловне коллеги желают доброго здоровья еще на долгие годы, благополучия всей семье!

Коллеги-геоботаники и почвоведы

XVII МЕЖДУНАРОДНОЕ СОВЕЩАНИЕ ЕВРОПЕЙСКОГО СОВЕТА ПО УЧЕТУ СВЕДЕНИЙ О ПТИЦАХ (г. КЬЯВЕННА, ИТАЛИЯ, 17-22 АПРЕЛЯ 2007 г.)

к.б.н. **О. Минеев**

Европейский Совет по учету птиц – European Bird Census Council (EBCC) – ассоциация экспертов-орнитологов, основная цель которой – совершенствование наблюдений, регуляция численности популяций и их охрана. Одним из результатов работы EBCC является изданный в 1997 г. «Атлас гнездящихся птиц Европы», в написании которого принимали участие также орнитологи лаборатории экологии наземных позвоночных животных Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Другим важным результатом деятельности EBCC является осуществление текущего проекта исследований паневропейских видов птиц. Европейский Совет тесно работает с различными научными орнитологическими и природоохранными организациями, поощряет связи между орнитологами, природопользователями и высокопоставленными политиками. Кроме того, эта международная организация содействует обмену идеями, опытом и новостями посредством издания журналов, проведения совещаний и конференций.

XVII конференция под названием «Наблюдение для изучения и управления охраной» проходила в г. Кьявенна (Италия) 17-22 апреля 2007 г. Кьявенна – небольшой городок (население не превышает 10 тыс. человек) на севере Италии, расположенный в Альпийских горах в 10 км от швейцарской границы. Он растянулся по узкой долине р. Мера, протекающей между гор и впадающей в величественное оз. Комо ледникового происхождения. Окружающие пейзажи отличаются живописностью и экзотичностью. Климат – субтропический. Главные доходы город получает от туризма. Особенно большое количество туристов бывает здесь в период горнолыжного сезона.

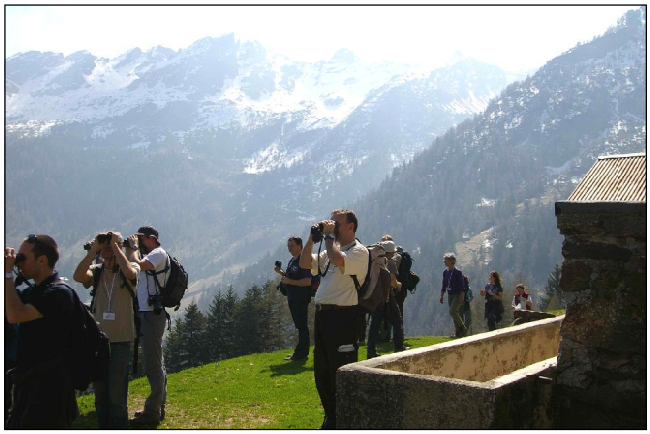
Вечером 16 апреля наша группа (С.К. Кочанов, О.Ю. Минеев и Г.Л. Накул) прибыли в г. Милан и отправились на железнодорожный вокзал, чтобы приобрести билеты до г. Кьявенна. Утром следующего дня железнодорожным транспортом мы отправились к месту проведения конференции. Жаркая погода и цветущая растительность говорили о том, что в Италии уже полным ходом идет лето. Одна из групп участников, в которую входили русская, украинская, румынская и чешская делегации, проживала в гостинице «Поста». Эта гостиница находится в 8 км от отеля «Аврора», где проходило открытие конференции и прозвучали устные доклады, а также проживала часть участников совещания. Постерная сессия и часть устных докладов были заслушаны в другой части города (Капучинни-Центр). Была организована регулярная доставка участников до места проведения конференции.

В работе совещания приняли участие 232 человека из Италии, Финляндии, Швеции, Украины, Нидерландов, Германии, Дании, США, Венгрии, Норвегии, Англии, России, Швейцарии, Латвии, Польши, Португалии, Испании, Греции, Израиля, Словении, Румынии, Кипра, Турции, Египта, Беларуси, Хорватии, Индии, Эстонии, Франции, Бельгии, Чехии, Румынии и Словакии. Россию представляли 10 человек. Открыли работу конференции ее организатор – Лоренцо Форназари, а также ведущие орнитологи Италии. Всего на заседаниях было заслушано 118 устных докладов, на постерной секции – 67 сообщений.

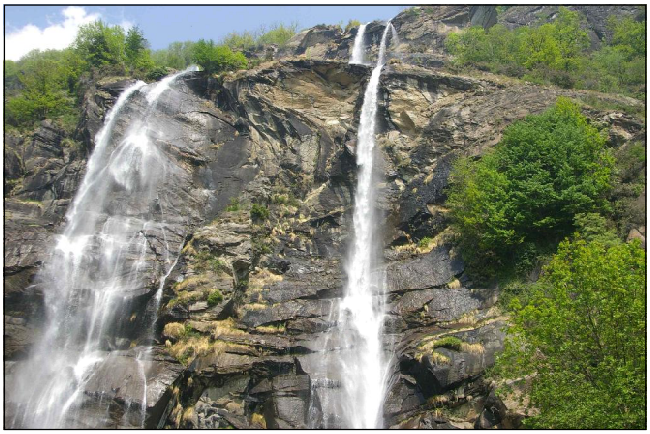
В ходе совещания были рассмотрены вопросы гнездования, распространения, численности, миграций и состояния популяций птиц в различных районах мира. Большое внимание было уделено новым методам учета и обработки данных. Обсуждены изученность популяций хищных птиц. Звучали доклады о долговременных трендах и естественных колебаниях численности, об управлении популяциями лесных птиц и их сохранении, о пространственном моделировании учетов и данных о распространении птиц, населяющих сельскохозяйственные угодья, и возможностях их охраны, предложены планы по мониторингу и методам охраны этих видов, включая материальную компенсацию фермерам и оленеводам за ущерб, наносимый птицами. Большое внимание было уделено глобально угрожаемым видам, намечено дальнейшее их изучение для прогнозирования численности птиц и подготовки методов для их охраны. Рассматривались вопросы изменения климата и его воздействия на птиц. Специальное заседание было посвящено созданию нового Атласа гнездящихся птиц Европы, результатом которого явилось решение об его издании с уточненными и расширенными данными.

Параллельно проведены круглые столы: по морским птицам; программе и технике наблюдения за хищными птицами; об установлении фенологической сети пан-европейских птиц; обновлению данных Атласа пан-европейских птиц; наблюдению за птицами возвышенных районов и гор. Были определены задачи и планы действий для групп, работающих по определенным видам. Одним из важных вопросов была проблема птичьего гриппа, возможности его распространения и меры предотвращения. Информация, изложенная в докладах, и результаты обсуждения постеров свидетельствовали о необходимости продолжения исследований в указанных направлениях. Для более полноценной и детальной работы необходимы ежегодные исследования в одних и тех же районах для определения тенденций динамики численности, на основе которых надо осуществлять прогнозирование состояний популяций птиц. Отмечена необходимость тесной кооперация ученых из различных стран в проведении этой работы.

Нами (Ю.Н. и О.Ю. Минеевы) было сделано два устных доклада «Распространение и численность сапсана в тундрах европейского северо-востока России» и «Экология орлана-белохвоста на европейском северо-востоке России», в которых были представлены новые сведения о распространении, численности и экологии размножения глобально угрожаемых видов хищных птиц. Постерные доклады были посвящены современному распространению и численности чайковых птиц в Малоземельской тунд-



Экскурсия в Национальный парк Ороби.



Водопад в г. Кьявенна.

ре (Г.Л. Накул), а также изменениям в фауне и сообществах птиц на европейском северо-востоке России (С.К. Кочанов). Материалы конференции будут опубликованы в специальном выпуске ведущего орнитологического журнала Италии при участии Viva Italia.

Один из дней был посвящен экскурсиям. Из предложенных на выбор мест мы выбрали экскурсию в национальный парк Ороби. Нас доставили в маленькое горное селение, где находится горнолыжная трасса, откуда наша группа пошла пешком по горной тропинке выше в горы. Стояла жаркая погода, и снега в горах практически не было. После экскурсии состоялся дружественный ужин на биологической станции Fauna Viva в г. Сондрио. После окончания конференции 22 апреля мы с группой украинских коллег (глава делегации проф. Киевского университета В.В. Серебряков) отправились в Венецию. В университете этого города мы встретились с коллегами и ознакомились с коллекциями птиц, получили информацию о методиках изучения отловов и численности мигрирующих птиц. В свободное время осмотрели достопримечательности древнего города на воде, полюбовались его красотой и величием. 23 апреля мы выехали в Милан, откуда вылетели рейсовым самолетом в Москву, и 25 апреля вернулись домой.

ИСТОРИЯ

ПАМЯТИ
доктора биологических наук, научного консультанта радиобиологических исследований Коми филиала АН СССР
ИРИНЫ НИКОЛАЕВНЫ ВЕРХОВСКОЙ
к 100-летию со дня рождения

(из личных воспоминаний к.б.н. **О. Поповой**)

Моя первая и незабываемая встреча с Ириной Николаевной, этой замечательной женщиной, произошла летом 1960 г. в пос. Водный, где уже третий год проводила свои рекогносцировочные исследования наша ухтинская радиобиологическая экспедиция. Предварительная обработка собранных материалов со всей очевидностью показала перспективность начатых исследований. Мы становились обладателями уникального природного полигона, на котором можно было бы разворачивать важные биоценотические исследования. Перед нами открывалось широкое поле деятельности. Интерес к региону проявляли, однако, и другие научно-исследовательские учреждения из Москвы, Ленинграда, что вызывало, как нам казалось, известную озабоченность со стороны руководства нашего филиала. Тогда нам были неведомы причины такой обеспокоенности. Лишь много позже, а может быть, даже только сейчас ко мне пришло понимание происходящих тогда событий. По сути дела, это ведь была своеобразная борьба за сферы влияния, за обладание уникальными территориями с повышенным природным фоном радиации, от чего напрямую зависело быть, например, или не быть радиоэкологии в Коми филиале. Наши руководители П.П. Вавилов, В.И. Маслов это хорошо понимали и поэтому стояли насмерть! И появление Ирины Николаевны Верховской в этом боевом триумвирате было как нельзя кстати. Ее приезд непосредственно на участки бывшего радиевого промысла был как нельзя вовремя! После закрытия промысла делалась настоящая установка на длительную и обстоятельную исследовательскую работу на загрязненной территории. Ирина Николаевна, представлявшая интересы Коми филиала (с 1959 г. она стала постоянным научным консультантом развернувшихся здесь работ по радиобиологии), будучи членом научного Совета по проблемам радиобиологии, развернула огромную научно-организационную работу по развитию радиобиологических исследований и в периферийных учреждениях страны. Во время ее приезда в пос. Водный она была инициатором нескольких встреч с управленцами и рабочими завода Коми-электростеатит, наскоро переоборудо-

ванного бывшего Радиевого завода № 2, разъясняла положение дел. И.Н. буквально была пропитана идеей экологической реабилитации территории, оставшейся в наследство от радиевого промысла, горячим желанием смягчить его негативное воздействие. Как истинный трибун, она взывала к руководству вновь действующего предприятия к усилению работ по очистке территории от радиоактивных загрязнений, настаивая на создании компетентной комиссии по разработке эффективных мер по ее дезактивации и по охране здоровья местного населения. Она внедряла в сознание руководства мысль о необходимости проведения научных исследований, которые должны рука об руку идти вместе с практическими действиями по реабилитации загрязненной местности. Возникший полигон может стать большой экспериментальной площадкой, где можно приступать к радиоэкологическим исследованиям на биоценотическом уровне. Но чтобы эффективно проводить такие исследования, нужны элементарные условия. Необходимо закрепить за выделенными для их проведения территориями статус научного заказника, где можно было бы вести длительные наблюдения. Необходимо сделать территории заказника недоступными для посещения людьми и скотом. В пос. Водный необходимо помещение, где могла бы размещаться экспедиция на время ее сезонной работы на стационаре. Надо заручиться постоянной поддержкой со стороны дирекции завода, совхоза. Да мало ли чего еще надо! Главное же, считала Ирина Николаевна, надо доходчиво объяснить руководству поселка, зачем мы здесь, что хотим. И надо отдать должное руководству главного предприятия пос. Водный директору Е.Н. Волкову, а также Н.Н. Дахно, Л.П. Бондарчук и многим другим, которые не оказались глухи к просьбам Коми филиала АН, прониклись мыслями о важности проведения радиобиологических исследований на месте бывшего радиевого промысла и дали им «зеленую улицу», предоставив нам возможность долгие годы проводить научные исследования. Вместе с подъехавшим из Сыктывкара П.П. Вавиловым Ирина Николаевна по нескольку раз объехала выделенные В.И. Масловым в ходе предыдущих экспедиционных выездов наиболее «злачные» участки. Тщательно обсудила причину выделения их для последующих стационарных наблюдений. Неоднократно выходили они с этими предложениями на руководство поселка. Готовили базу для будущего стационара… В ито-

Ирина Николаевна Верховская.

ге лето 1960 г. во всех смыслах оказалось трудным для всех нас, особенно для наших руководителей – П.П. Вавилова, В.И. Маслова, И.Н. Верховской. Тогда был заложен краеугольный камень, определивший на многие последующие годы успешную работу главного стационара коми-радиоэкологов. В этом глубинный смысл всех тех событий, которые произошли в пос. Водный в период приезда Ирины Николаевны Верховской в 1960 г.

Навсегда запомнились мне и те вечерние посиделки, которыми завершался каждый день того знаменательного для нас лета. Эти сборы-семинары приобщали нас к Большой Науке. Маленькими струйками незаметно вливались в нас понятия «малые дозы», экология, биогеоценозы, становясь нашей плотью. Как бы между делом Ирина Николаевна и ее верная соратница Шурочка (Александра Ивановна Нефедова) преподавали нам азы радиобиологического знания (мы тогда были девственно неграмотны в области этой науки!), знакомили с самыми насущными правилами техники безопасности при работе с открытыми радиоактивными источниками. Тогда же, например, пока что механически впервые вошла в мою голову информация об эффективности действия малых доз ионизирующих излучений, если оно проявляется на популяционном уровне. Все было тогда для нас новым, звучало как откровение! Лишь много позже, когда мы уже сами начали постигать азы генетики, память не раз возвращала меня к тем первым урокам по радиационной генетике, которые в тот первый мой выезд в экспедицию преподала нам Ирина Николаевна.

Надо сказать, что головы наши были напичканы тогда лысенковской чертовщиной. Наше обучение в университетах, институтах совпало с господством культа личности, и мы полностью были продуктом той эпохи. Спасло то, что вскоре на нашем пути встретились такие люди, как Ирина Николаевна, умевшая отличать зерна от плевел и сохранившая способность в то страшное время не поддаваться искушению и страху.

Ирина Николаевна Верховская была одной из первых в стране женщин-радиобиологов. В 50-х годах она руководила первым в Союзе изотопным практикумом, кузницей радиобиологических кадров. Наша Раечка (Раиса Павловна Коданева), одна из первых коми-радиобиологов, прошла в 1959 г. курс обучения у нее в Институте биофизики АН СССР. Восторг Ирины Николаевны перед только что нарождающейся научной дисциплиной – радиобиологией – был так велик, что однажды, выйдя на трибуну какого-то весьма представительного совещания, она вдруг страшно смутилась и, позабыв все, о чем хотела сказать, выпалила под всеобщие аплодисменты: «Радиобиология – это замечательно!» (это мы почерпнули из ее личных рассказов-воспоминаний). Свой восторг, свою приверженность радиобиологии она пронесла через всю свою жизнь и щедро передала нам, ее ученикам. В течение всего своего последующего курирования коми-радиоэкологов, вплоть до самой смерти в 1974 г., она почти по-матерински заботливо поддерживала нас, часто называя нас «мои комики». Не упускала случая «показать» нас нужным специалистам, вывести «в люди». Уже в 1961 г. было решено доложить результаты наших первых исследований на заседании научно-методического совета по проблеме «Распределение и миграция радиоактивных веществ в природных условиях», возглавляемого академиком В.М. Клечковским. Поначалу, когда нам сообщили о предстоящем выступлении, мы растерялись. Опыт наш был еще так незначителен. Мы полагали, что нам еще рано выходить «на люди». Руководители же наши П.П. Вавилов, В.И. Маслов, И.Н. Верховская, напротив, считали, что время уже пришло, что нельзя упускать момент. Есть коллектив, люди, которые трудятся и получают результаты, что в работе проявляется несомненная ценность – комплексность. И все это уже имеет право на существование. В центре должны увидеть товар лицом!

И вот 12 апреля 1961 г. (в знаменательный день выхода человека в космос!) в Институте геохимии и аналитической химии, что на Ленинских горах в Москве, состоялся наш дебют. Ирина Николаевна представила Совету коллектив недавно созданной в Коми филиале лаборатории, которая приступила к комплексным исследова-

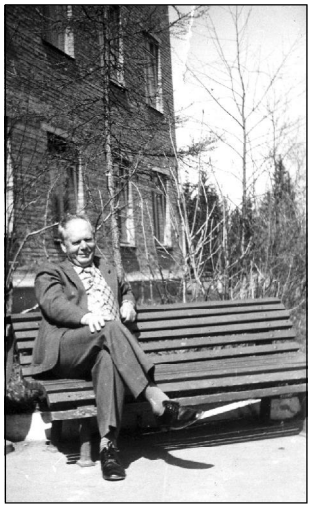
ниям природных биогеоценозов с повышенным естественным фоном радиации. Заслушивали только нас! О почвенных работах доложила Г.В. Русанова, о работах с растениями – я, о гидробиологических – Э.И. Попова, о работах с животными объектами – В.И. Маслов. Все выступления, видимо, заинтересовали членов комиссии, а В.М. Клечковский дал высокую оценку выполненным работам. Дебют коми-радиобиологов состоялся!

Сегодня, по прошествии стольких лет, я раздумываю над тем, имели ли мы право тогда на этот дебют. Конечно, мы еще были тогда так неопытны, наши результаты – так наивны и примитивны. Они нуждались в подтверждении, уточнении. И все же, наверное, расчет наших руководителей был правильным. Нам открывали дорогу в большой мир науки, давали «зеленую улицу». И действительно, после этой поездки в Москву произошла как бы «затравка». Мы стали систематически то оптом, то в розницу выезжать на совещания и в другие города, приобщаться к необозримому миру знания, осознавать свое место, свои достижения и недостатки. И роль тут Ирины Николаевны трудно переоценить! Патриарх сельскохозяйственной радиоэкологии В.М. Клечковский, давая оценку деятельности радиоэкологов Коми, отмечал, что одной из важных составляющих успеха коллектива является Ирина Николаевна Верховская, стоявшая у самых истоков зарождения радиоэкологии в Сыктывкаре. Президиум Коми филиала неоднократно выражал ей благодарность за самоотверженное служение радиобиологической науке на земле Коми. Низкий Вам поклон, дорогая Ирина Николаевна, и вечная память!

ПАМЯТИ ПАВЛА АЛЕКСАНДРОВИЧА БОРОДКИНА

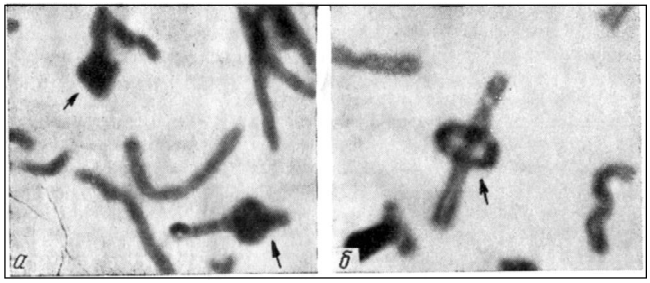
к.б.н. **О. Попова**

7 сентября 2007 г. исполнилось 10 лет со дня смерти Павла Александровича Бородкина, стоявшего непосредственно у истоков становления медицинского направления в радиоэкологических исследованиях на территории Республики Коми. Ему, как и остальным радиобиологам только что созданной в Коми филиале АН лаборатории, предстояло изучение сложнейшей проблемы – действие малых доз радиации на живые организмы. С первых дней работы он задумывается над организацией собственной стратегии медицинского обследования населения бывшего радиевого промысла в пос. Водный, над внедрением генетических методов в изучение эффекта малых доз. Вслед за массовым обследованием полового хроматина у жителей поселка он приступает к обширным кариологическим исследованиям с культурой крови человека. Разворачивает экспериментальные работы, в числе которых такие, как дозовая зависимость цитогенетических эффектов радиации. Выявляет средства и способы модификации радиобиологических эффектов. В ходе всех этих работ Павлу Александровичу удается выйти на весьма неординарные явления в области медицины: терморезистентность лимфоцитов; термостимуляция митотической активности; радиозащитные свойства стрептомицина; феномен «надетость хромосом», явление, которое до него было обнаружено лишь на растительных объектах.



П.А. Бородкин у здания Радиобиологического корпуса, 1970-е годы.

Считаем не лишним привести и снимки, сделанные Павлом Александровичем почти тридцать лет назад.



Надетость кольцевых хромосом в метафазах из культур крови человека, облученной в дозе 500 р. (Журн. Генетика, 1978. Т. XIV, № 2. С. 2218-2219).

В свое время радиобиологи не упустили случая отразить это событие в шутливой стихотворной форме на ближайшем радиобиологическом капустнике. Вот как это выглядело.

Поэма о «надетости хромосом»

Много ль надо человеку?
Крыша, стол, штаны, очаг,
«Жигули», гараж впридачу.
Только все это – пустяк!

Ищет Паша дни и ночи,
Одержимостью томим,
Генетических событий
Проявленье смутных сил.

Тот найдет, кто ищет, роет
(Это знаем мы давно!).
Откопать еще фено́мен,
Видно, Паше суждено.

Вот Она! В обличье разном
Чудо, диво, феноме́н!
В вихре танца метафазном.
Предстает как монумент!

Уникальна, безызвестна,
Вся пока таинств полна.
«Хромосомова надетость»
Называется она.

Опыт цитогенетического обследования жителей бывшего радиевого промысла в пос. Водный исключительно пригодился П.А. в дни Чернобыльской аварии, когда он принял участие в развернутом Институтом генетики АН СССР цитогенетическом обследовании лиц, подвергшихся облучению. За участие в этом обследовании он был награжден в 1996 г. медалью «За спасение погибавших».

Память о Павле Александровиче Бородкине, честном, порядочном человеке, кандидате медицинских наук, внесшем существенный вклад в развитие медицинских радиоэкологических исследований на земле Коми, чтут радиоэкологии Института биологии.