

**Изменение гумусного состояния среднетаёжных подзолистых почв под влиянием сплошнолесосечных рубок**

© 2015. Е. М. Лаптева, к.б.н., зав. отделом, Н. Н. Бондаренко, инженер, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, e-mail: lapteva@ib.komisc.ru

В работе представлены результаты оценки гумусного состояния и состава гуминовых и фульвокислот типичных подзолистых почв, сформированных в коренных еловых лесах и хронологическом ряду вырубок. Показано, что изменение условий почвообразования на вырубках обуславливает снижение кислотности почв и возрастание миграционной и реакционной способности гумусовых веществ при сохранении основных зональных черт гумусного состояния – слабой степени гумификации органического вещества, преобладании в составе гумуса фульвокислот, практически полном отсутствии фракции ГК-2, низкой оптической плотности гуминовых кислот. Установлено, что гуминовые и фульвокислоты почв вырубок отличаются преобладанием в структуре макромолекул алифатических и аминокислотных фрагментов и повышенным содержанием азота. Наиболее чувствительным компонентом к изменению экологических условий на вырубках среднетаёжных еловых лесов являются гумусовые кислоты подзолистого горизонта.

The work includes the assessment results of humus condition and composition of humic and fulvic acids for typical podzolic soils formed in virgin spruce forests and in different-aged tree clear cuttings. Changes in soil formation conditions at tree cuttings decrease the soil acidity and increase the migration and reaction abilities of humic substances but the principle zonal characteristics of humus condition remain unchanged as a weak organic matter humification degree, domination of fulvic acids over humic acids in humus composition, almost zero presence of HA-2 fraction, and a low optical density of humic acids. Macromolecules of humic and fulvic acids at clear cuttings are structurally dominated by aliphatic and aminoacid fragments which contain large amounts of nitrogen. Humic acids of a podzolic soil horizon are most vulnerable in changing ecological conditions at clear cuttings in middle taiga spruce forests.

**Ключевые слова:** вырубки, подзолистые почвы, гумусное состояние почв, гуминовые и фульвокислоты, аминокислотный состав.

**Keywords:** clear cuttings, podzolic soils, humus soil condition, humic and fulvic acids, aminoacid composition.

**Введение**

Одним из мощнейших экологических факторов, определяющих изменение всех компонентов лесных экосистем, является лесозаготовительная деятельность. Последствия промышленных рубок затрагивают качество лесов, видовой состав и структуру напочвенного покрова, почвенной биоты, гидрологический режим водосборов, микроклиматические характеристики, а также свойства и режимы почв. На территории Республики Коми заготовка древесины для промышленных нужд началась еще в 80-е годы XIX в. [1]. Своих катастрофических масштабов она достигла ко второй половине XX в., когда практически полностью были вырублены наиболее продуктивные массивы коренных темнохвойных лесов южной и средней тайги. На месте вырубленных лесов сформировались малоценные вторичные лиственные насаждения из берёзы и осины [2].

К настоящему времени установлено, что в первые годы после сведения среднетаёжных еловых лесов происходит временное переувлажнение подзолистых почв [3] и изменяется их термический режим [4]. В этих условиях наблюдается снижение численности и функциональной активности почвенной микробиоты [5], повышается реакционная способность лабильных гумусовых веществ [6]. По мере естественного восстановления растительного покрова на вырубках меняется качественный и количественный состав опада [7], поступающего на поверхность почвы и включающегося в процессы гумусообразования.

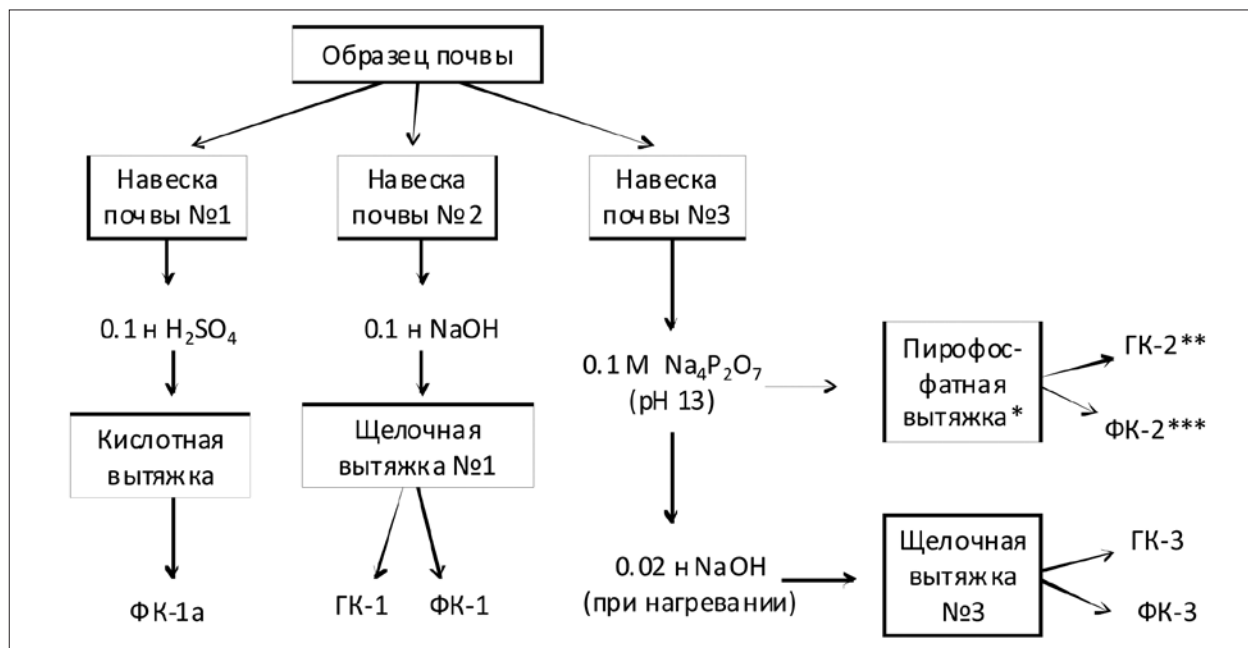
Цель данной работы заключалась в выявлении основных закономерностей изменения гумусного состояния типичных подзолистых почв в процессе естественного лесовосстановления после сплошнолесосечных рубок среднетаёжных еловых лесов.

**Объекты и методы исследования**

Исследования проводились на территории Республики Коми (Усть-Куломский р-н), в подзоне средней тайги. Объектами исследования послужили почвы спелого ельника черничного (ключевой участок ПП-1) и производных лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся после рубок главного пользования, проведённых в зимний период 2001/2002 (ПП-2) и 1969/1970 гг. (ПП-3). Подробное описание ключевых участков дано в ранее опубликованных работах [3, 7, 8]. Почвенный покров участков представлен подзолистыми текстурно-дифференцированными почвами, сформированными на крупнопылеватых покровных суглинках. Отбор проб для изучения фракционно-группового состава гумуса почв коренного елового леса и разновозрастных вырубок проводили в 2005 году. Опорные разрезы закладывали в наиболее дренированных позициях рельефа ключевых участков ПП-1, ПП-2 и ПП-3 [3]. Пробы почв для выделения гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК) отбирали в 2006 г. из верхних горизонтов (лесная подстилка, подзолистый горизонт) в прикопках вблизи опорных разрезов. При проведении физико-химических исследований использовали общепринятые в почвоведении методы [9]. Актуальную кислотность (рН водной вытяжки) определяли по-

тенциометрически на иономере «Анион-4100» при соотношении почва:раствор 1:25 для органогенных горизонтов и 1:5 – для минеральных. Групповой и фракционный состав гумуса анализировали модифицированным нами методом Кононовой-Бельчиковой [3]. Схема анализа приведена на рисунке 1. Концентрацию углерода органических соединений в вытяжках из почв, в т. ч. водных, определяли дихроматным методом со спектрофотометрическим окончанием [9].

Предложенная нами модификация метода Кононовой-Бельчиковой позволяет выделять группы и фракции гумусовых веществ, близкие по сути к аналогичным, выделяемым в классической схеме Плотниковой-Пономарёвой [10]. Использование классической схемы Плотниковой-Пономарёвой применительно к кислым подзолистым почвам зачастую даёт отрицательные значения при расчёте фракции ГК-2, что создаёт определённые проблемы при интерпретации полученных результатов [11]. К преимуществам модифицированной нами схемы фракционно-группового анализа гумуса следует отнести возможность достоверной оценки наличия или отсутствия фракции ГК-2 на основании расчёта погрешностей определения углерода гуминовых и фульвокислот в пирофосфатной и щелочной № 1 вытяжках. При интерпретации данных фракционно-группового анализа использовали систему



**Рис. 1.** Схема выделения групп и фракций гумусовых кислот в модифицированной схеме Кононовой-Бельчиковой: \* ориентировочно соответствует щелочной вытяжке № 2 в схеме Пономарёвой-Плотниковой; \*\* фракция ГК-2 рассчитывается по разнице между содержанием углерода ГК в пирофосфатной и щелочной вытяжке № 1; \*\*\* фракция ФК-2 соответствует содержанию углерода ФК в пирофосфатной вытяжке за минусом углерода ФК в кислотной и щелочной № 1 вытяжках.

показателей гумусного состояния почв Д. С. Орлова и Л. А. Гришиной [12] с дополнениями [13]. Показатель относительной подвижности гумусовых веществ (Пг) рассчитывали как отношение суммы фракций ГК-1, ФК-1а, ФК-1 к сумме фракций ГК-2, ФК-2 [14].

Препараты гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК) выделяли из верхних горизонтов почв – лесной подстилки и подзолистого горизонта – двукратной экстракцией раствором 0,1 моль/л  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  в 0,1 моль/л  $\text{NaOH}$  (рН 13) при соотношении почва:раствор 1:10 [15]. Разделение гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК) проводили при подкислении экстракта до рН 1-2 с использованием 6 М  $\text{HCl}$ . Очистку и приготовление сухих препаратов ГК и ФК осуществляли в соответствии с общепринятой методикой [16]. Зольность препаратов гумусовых кислот определяли прокаливанием до постоянной массы при  $550^\circ\text{C}$ , влажность – по обратному набору веса предварительно высушенной пробы [17].

Элементный состав гумусовых кислот, а также содержание углерода и азота в почвенных образцах определяли на CHNS-О-элементном анализаторе EA-1110 (Carlo Erba). Аминокислотный состав ГК и ФК исследовали после гидролиза препаратов 6 М  $\text{HCl}$  при соотношении 1:200 (масса : объём) в течение 24 часов при температуре  $110^\circ\text{C}$ . Количественное содержание аминокислот в гидролизатах измеряли на аминокислотном анализаторе AMINO ACID ANALYZER T339 (Microtechna Praha) в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257 от 26.02.2014 г.). Содержание катионов кальция, магния, железа и алюминия в 0,1 моль-экв/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$ -вытяжках из почв измеряли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

### Результаты и обсуждение

Органическое вещество почв (ПОВ) – сложная система высоко- и низкомолекулярных органических соединений, которые, с одной стороны, образуются в процессе формирования и эволюции почв [18], а с другой – являются основным компонентом почв, определяющим устойчивое развитие и стабильное существование наземных экосистем [19]. Именно поэтому при исследовании природных экосистем, выявлении закономерностей их изменения под влиянием антропогенного

фактора первоочередное внимание уделяется оценке гумусного состояния почв [11, 14, 18] и особенностям строения и свойств основных компонентов гумусовых веществ – гуминовых и фульвокислот [20].

Для подзолистых почв таёжной зоны характерна аккумуляция ПОВ в форме горизонта оторфованной лесной подстилки, в которой сосредоточена основная часть общего запаса органического углерода, азота и элементов минерального питания растений. Минеральная часть профиля подзолистых почв отличается низким содержанием гумуса – менее 1%, с преобладанием в его составе фульвокислот [21]. Вырубка лесов обуславливает изменение морфологических и химических свойств подзолистых почв, максимальная выраженность которых прослеживается на ранних стадиях послерубочных сукцессий. Временное переувлажнение, характерное для почв молодых вырубок (5–10 лет), способствует развитию процессов глееобразования и возрастанию кислотности в верхней части почв [3], что приводит к снижению функциональной активности почвенных микробных сообществ [5] и скорости разложения растительного опада. Последнее способствует возрастанию мощности лесных подстилок, представленных преимущественно остатками мхов, и снижению их обогащённости азотом [22, 23].

В целом, мощность горизонтов лесных подстилок в исследованных нами почвах соответствует по градации Л. А. Гришиной и Д. С. Орлова [12], категории мощных (участки ПП-1, ПП-2) и средней мощности (ПП-3) с эндоморфным распределением запасов органического вещества в подстилке и в минеральной толще профиля. Анализ фракционно-группового состава гумуса (табл. 1) свидетельствует о том, что гумусное состояние почвы ключевого участка ПП-1 соответствует типу подзолистых почв [11, 21, 24]. Для неё характерен гуматно-фульватный (лесная подстилка) и фульватный (минеральная часть профиля) тип гумуса с преобладанием «подвижных» фракций гуминовых (ГК-1) и фульвокислот (ФК-1а, ФК-1) и полным отсутствием фракции ГК-2, предположительно связанной с кальцием. Содержание наиболее «агрессивных», подвижных, хорошо растворимых в воде компонентов ПОВ (кислоторазрушимая фракция ФК-1а) дифференцировано в профиле типичной подзолистой почвы ненарушенного елового леса. В лесной подстилке их доля низка (2% от общего содержания углерода органических веществ – Собщ.), в то

## МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

время как в элювиальной части профиля она составляет 18–33% от Собщ., что соответствует высокому и очень высокому уровню [13]. Такое распределение фракции ФК-1а типично для подзолистых почв [21].

Доля водорастворимых компонентов в составе ПОВ достаточно высока (1,3–3,8% от Собщ.), что свидетельствует о существенной роли в формировании гумусного статуса типичных подзолистых почв неспецифических органических соединений, среди которых значимое место занимают низкомолекулярные органические кислоты [25]. Степень гумификации почвенного органического вещества на участке ПП-1 слабая (10–16) или очень слабая (9–10).

Восстановление растительного покрова на вырубках среднетаёжных еловых лесов сопровождается сменой пород и формированием лиственных насаждений из берёзы и

осины [2]. Опад таких сообществ качественно отличается от опада хвойных лесов [7], что обуславливает снижение кислотности почв на вырубках с переходом верхней части горизонта лесной подстилки в категорию слабокислых на участке ПП-3 (табл. 1). Тип гумуса, профильное распределение «агрессивных» компонентов ПОВ и относительное содержание водорастворимых органических соединений в почвах вырубок (ПП-2 и ПП-3) аналогичны почве целинного ненарушенного леса (ПП-1). В то же время изменения экологических условий на вырубках нашли своё отражение в некоторых параметрах гумусного состояния почв, свидетельствующих о возрастании миграционной способности (подвижности) гумусовых кислот в почвах вырубок. В первую очередь это касается профильного распределения фракции гуминовых кислот ГК-1. В почвах участков ПП-2 и ПП-3 фрак-

**Таблица 1**

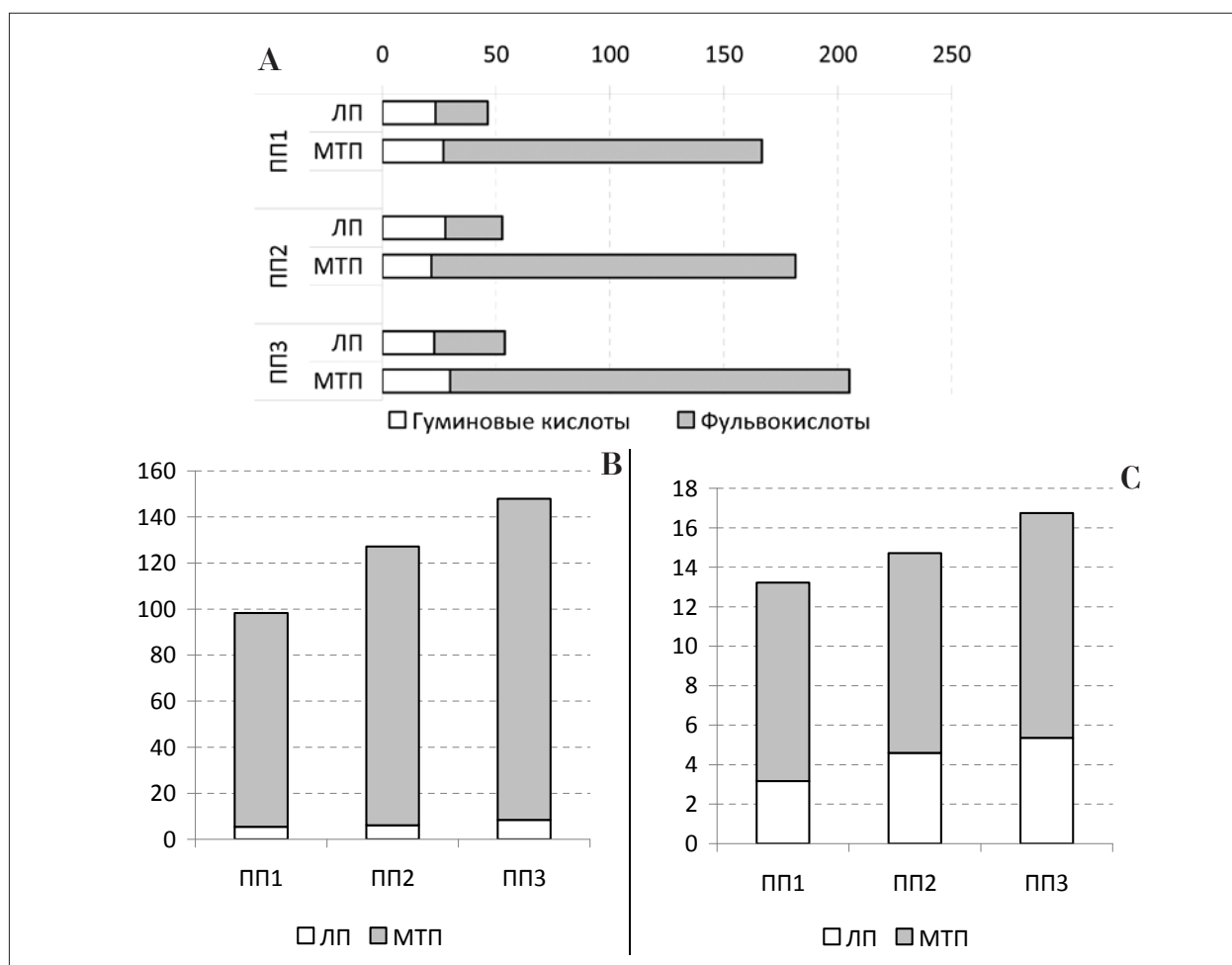
Некоторые показатели гумусного состояния подзолистых почв ненарушенного ельника черничного (ПП-1) и лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся на вырубках 2001/2002 (ПП-2) и 1969/1970 (ПП-3) годов.

Горизонт	Глубина, см	рН. <sup>1</sup>	Собщ., %	Содержание углерода, % к Собщ.			Содержание углерода фракций, % к сумме ГК		Тип гумуса, Сгк:Сфк	Степень гумификации <sup>4</sup>		Е <sup>5</sup>	Пг <sup>6</sup>
				ΣГК <sup>2</sup>	ΣФК <sup>3</sup>	ФК-1а	ГК-1	ГК-2		I	II		
<b>ПП-1</b>													
O1	0-2(4)	4,22	47,8	16	17	2	66	0	0,9	16	0,37	0,035	7
O2	2(4)-3(6)	3,82	33,0	12	17	2	66	0	0,7	12	0,42	0,053	12
EL	3(6)-6(12)	4,32	0,98	9	53	21	100	0	0,2	9	0,48	0,052	11
ELBfh	6-10(12)	4,04	2,55	16	59	18	100	0	0,3	16	0,85	0,054	17
EL	10(12)-31	4,75	0,18	0	88	33	0	0	0,0	0	0	1,054	-
<b>ПП-2</b>													
O1	0-5	4,33	47,3	16	15	2	65	7	1,1	16	0,39	0,038	11
O2	5-6	3,68	45,7	15	17	1	62	0	0,9	15	0,48	0,051	6
ELhg	6-8(20)	4,34	1,32	10	45	14	100	0	0,2	10	0,56	0,057	9
ELBfh	8(20)-17(21)	4,32	1,77	10	54	29	100	0	0,2	10	0,42	0,043	92
EL	17(21)-38(40)	4,77	0,32	0	74	34	0	0	0,0	0	0	0,046	139
<b>ПП-3</b>													
O1	0-0,5(1,0)	5,62	48,6	9	14	2	65	0	0,6	9	0,15	0,025	4
O2	1-2(4)	5,08	45,7	14	20	3	64	5	0,7	14	0,27	0,031	6
OELh	2(4)-5	4,35	19,8	15	27	3	72	0	0,6	15	0,55	0,049	3
EL	5-9(23)	4,34	0,79	11	66	23	100	0	0,2	11	0,49	0,043	3
ELn	10-15	4,67	0,68	17	68	35	100	0	0,1	9	1,27	0,144	12
EL	9(23)-26(31)	4,67	0,35	17	65	23	100	0	0,3	17	1,09	0,064	4

Примечание. <sup>1</sup> – рН водной вытяжки; <sup>2</sup> ΣГК – суммарное содержание углерода фракций гуминовых кислот; <sup>3</sup> ΣФК – суммарное содержание углерода фракций фульвокислот; <sup>4</sup> степень гумификации: I – по Д. С. Орлову,  $\frac{\sum \text{ГК}}{\text{Собщ}} \cdot 100\%$ ; II – по Т. А. Гореловой,  $\sum \text{ГК} \cdot E_{465\text{нм},1\text{см}}^{0,001\%C}$  [13]; <sup>5</sup> E – оптическая плотность гуминовых кислот,  $E_{465\text{нм},1\text{см}}^{0,001\%C}$ ; <sup>6</sup> Пг – показатель относительной подвижности гумусовых кислот.

ция ГК-1 встречается до глубины 20–30 см, тогда как на участке ПП-1 глубина распространения гуминовых кислот, извлекаемых 0,1 моль/л раствором NaOH, ограничивается горизонтом ELBfh (10–12 см). Более показательными в этом отношении являются: (а) расчёт запасов различных компонентов гумуса на метровую толщину профиля почв; (б) соотношение основных катионов (Ca, Mg, Fe, Al) в 0,1 моль-экв/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-вытяжке из почв. Как видно из рисунка 2, в почвах вырубков возрастают запасы суммарного содержания углерода различных фракций фульвокислот (рис. 2А), за счёт увеличения в 1,3–1,5 раза их наиболее «агрессивной» фракции – ФК-1а (рис. 2В). Для углерода водорастворимых компонентов гумусовых веществ также отмечено возрастание в 1,1–1,3 их запасов в почвах вырубков (рис. 2С). Этот рост обусловлен в основном за счёт увеличения в 1,4–1,7 раза запасов водорастворимых органических

соединений в горизонтах лесных подстилок почв участков ПП-2 и ПП-3 по сравнению с ПП-1. Возрастание доли легкорастворимых, миграционно-активных компонентов гумуса может быть обусловлено, с одной стороны, временным переувлажнением подзолистых почв после рубки леса и развитием процессов оглеения [26], а с другой – снижением активности почвенной микробиоты, использующей в качестве источника энергии легко растворимые сахара, спирты, аминокислоты, низкомолекулярные органические кислоты, составляющие основу водорастворимых компонентов гумуса [5]. Полученные расчётные данные хорошо согласуются с результатами оценки соотношения гидрофильных и гидрофобных компонентов в составе ПОВ, извлекаемого 0,1 моль/л раствором NaOH [6]. После сведения еловых лесов в подзолистых почвах наблюдается возрастание доли гидрофильных фракций, определяющих активную



**Рис. 2.** Распределение запасов (т/га) суммарного содержания углерода гуминовых (ΣГК) и фульвокислот (ΣФК) (А), «агрессивной» фракции фульвокислот ФК-1а (В) и водорастворимых компонентов гумуса (С) между горизонтами лесной подстилки (ЛП) и минеральной толщью профиля (МТП) в подзолистых почвах ненарушенного ельника черничного (ПП-1) и лиственнично-хвойных насаждений, сформировавшихся на вырубках 2001/2002 (ПП-2) и 1969/1970 (ПП-3) годов.



миграцию гумусовых веществ в почвах вырубок, особенно в первые годы естественного возобновления растительного покрова. Высокая миграционная активность гумусовых веществ в почвах вырубок подтверждается также расчётом такого показателя, как относительная подвижность гумусовых веществ (Pr), величины которого наиболее высоки в почве молодой вырубки (табл. 1).

Смена типа растительного сообщества, поступление на поверхность почвы богатого азотом и зольными элементами листовного опада объясняют появление во фракционно-групповом составе гумуса подзолистых почв вырубок фракции ГК-2, предположительно связанной с кальцием (табл. 1). Эта фракция отмечена в отдельных подгоризонтах лесных подстилок почв участков ПП-2 и ПП-3, где на их долю приходится до 5–7 % от суммарного содержания углерода группы гуминовых кислот. Подтверждением влияния на процессы гумусообразования богатого кальцием и магнием опада берёзы и осины является изменение катионного состава 0,1 моль-экв/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-вытяжек. В отличие от почвы участка ПП-1 в почвах вырубок отмечено возрастание в катионном составе декальцинов доли ионов кальция и магния до 11–34% в органогенных горизонтах и 2–15% – в минеральных. По остальным показателям гумусного состояния почвы рассмотренных ключевых участков существенно не отличаются друг от друга и

попадают, как правило, в одну категорию в соответствии с градациями, предложенными Д. С. Орловым с соавторами [13].

Ведущим компонентом почвенного органического вещества является его высокомолекулярная часть – гуминовые и фульвокислоты [18]. Изменения экологических условий почвообразования после рубки хвойных лесов нашли своё отражение в изменении элементного и аминокислотного составов препаратов ГК и ФК, выделенных из верхних горизонтов подзолистых почв разновозрастных вырубок. Как видно из таблицы 2, в препаратах ГК содержание углерода варьирует от 50,96 до 56,58, азота – от 2,80 до 4,76, водорода – от 4,06 до 5,71, кислорода - от 33,37 до 39,61%. В ФК содержание С, N и H ниже и составляет, соответственно, 47,41–51,41, 0,88–1,81 и 2,88–4,73%. Концентрация кислорода и соотношение O:C существенно выше в макромолекулах ФК по сравнению с ГК, что в целом характерно для элементного состава ФК и свидетельствует о более высоком содержании в них карбоксильных групп и более высокой миграционной способности ФК [18].

Отличительной особенностью элементного состава ГК почв вырубок (ПП-2 и ПП-3) является повышение в 1,3–1,7 раза доли N по сравнению с почвой целинного леса (ПП-1). В ФК возрастание содержания азота и уменьшение величины C:N отмечено только для молодой вырубки (табл. 2). На участке ПП-3

Таблица 2

Элементный состав и молярные отношения гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), выделенных из подзолистых почв хронологического ряда вырубок\*

Горизонт	Препарат	Массовая доля, %				Атомные отношения			(H:C) <sub>испр</sub>
		C	N	H	O	H:C	O:C	C:N	
ПП-1, ельник черничный									
O	ГК	53,56	2,80	4,06	39,58	0,90	0,55	22,32	1,65
EL	ГК	55,00	2,82	4,38	37,80	0,95	0,52	22,77	1,64
O	ФК	49,29	0,88	3,61	46,22	0,87	0,70	65,26	1,82
EL	ФК	48,30	1,81	4,33	45,56	1,07	0,71	31,08	2,01
ПП-2, лиственный молодняк, сформировавшийся на вырубке 2001/2002 гг.									
O	ГК	52,59	3,38	4,42	39,61	1,00	0,57	18,15	1,76
ELhg	ГК	56,58	4,34	5,71	33,37	1,20	0,44	15,19	1,79
O	ФК	51,41	1,75	4,22	42,61	0,98	0,62	34,18	1,81
ELhg	ФК	49,70	1,00	3,75	45,55	0,90	0,69	57,93	1,82
ПП-3, лиственно-хвойное насаждение, сформировавшееся на вырубке 1969/1970 гг.									
O	ГК	56,34	3,26	5,50	34,90	1,16	0,46	20,19	1,78
EL	ГК	50,96	4,76	4,72	39,56	1,10	0,58	12,49	1,88
O	ФК	48,84	0,88	2,88	47,40	0,70	0,73	64,99	1,68
EL	ФК	47,41	1,49	4,73	46,37	1,19	0,73	37,01	2,17

Примечание. \* все расчёты приведены на безводные, беззольные навески;  $(H:C)_{испр} = (H:C) + 2 \cdot (O:C) \cdot 0,67$  [18].

эти показатели приближаются к параметрам почвы целинного леса. Увеличение доли азота в составе макромолекул ГК, по всей видимости, связано со спецификой растительного опада. В лиственно-хвойных насаждениях, формирующихся на вырубках, основная доля опада приходится на листовые пластинки мелколиственных пород, отличающиеся повышенным содержанием азота [7]. Гуминовые кислоты, экстрагируемые из верхних горизонтов почв вырубков, имеют также более высокие значения Н:С (табл. 2), что свидетельствует об относительном возрастании в структуре их макромолекул доли алифатических фрагментов.

В гидролизатах ГК и ФК идентифицировано 15 аминокислот. Их состав во всех выделенных препаратах однотипен – это аспарагиновая и глутаминовая аминокислоты, аланин, аргенин, валин, гистидин, глицин, лейцин и изолейцин, лизин, метионин, пролин, серин, тирозин, треонин, фенилаланин, цистин. Однако суммарное содержание аминокислот, входящих в состав ГК и ФК, существенно различается в исследованных нами почвах (табл. 3). В препаратах ГК, выделенных из почв вырубков, особенно из их подзолистых горизонтов, содержание аминокислот в 4,5–4,8 раза выше по сравнению с аналогичными горизонтами целинного леса. Для фульвокислот такая картина отмечена только для лесной подстилки молодой вырубки. Возрастание общего количества гидролизуемых аминокислот свидетельствует о более развитой периферической части в структуре гумусовых кислот, формирующихся в почвах вырубков, и,

соответственно, об упрощении их строения. Изменение соотношения ядерной и периферической частей в структуре макромолекул гумусовых веществ в сторону увеличения доли последней вполне объяснимо снижением микробиологической активности почв на ранних стадиях восстановления растительного покрова после рубки леса, обусловленным временным переувлажнением почв.

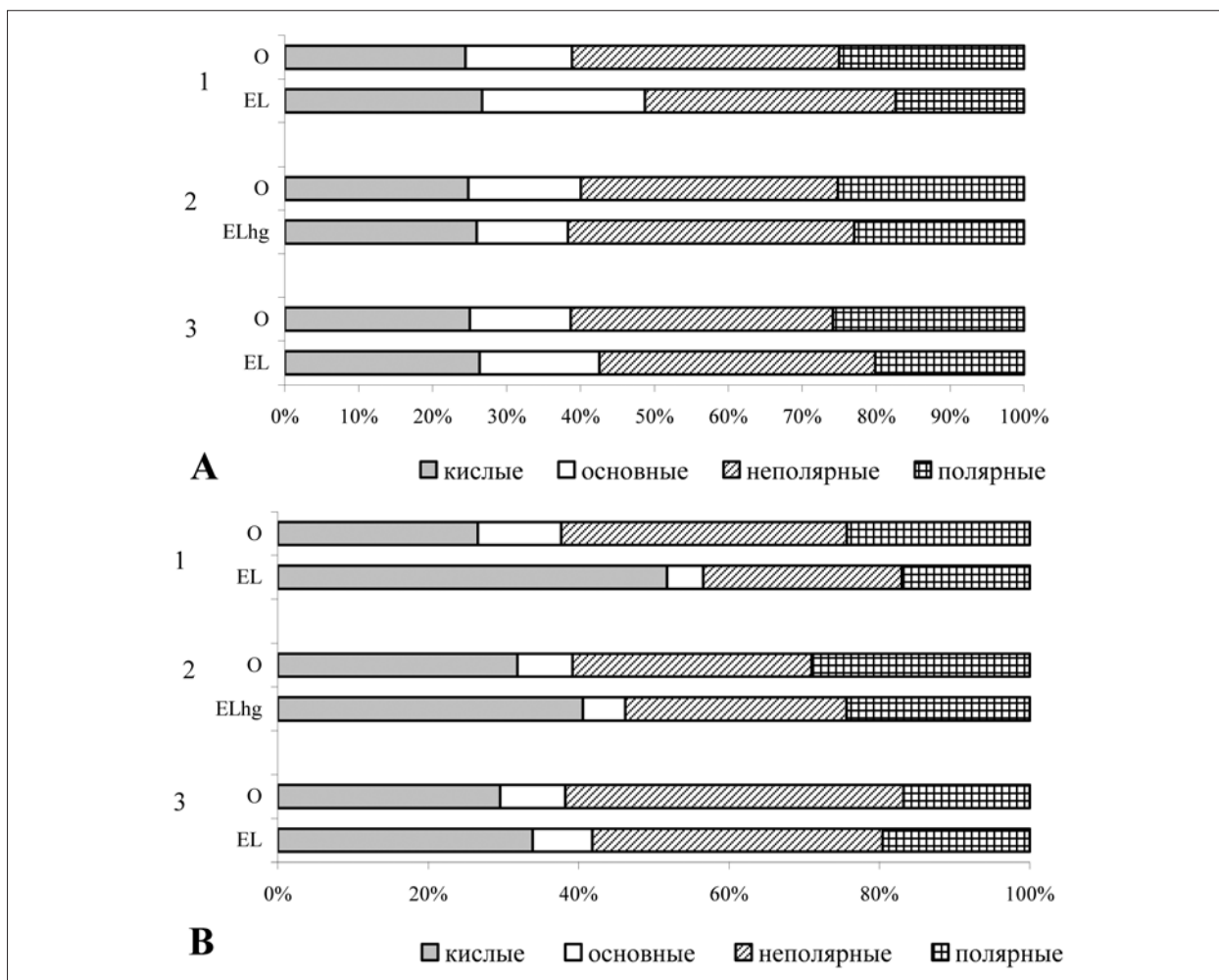
Во всех препаратах гумусовых кислот преобладают нейтральные и кислые аминокислоты (рис. 3), причём содержание последних в ФК в 1,1–1,7 раз выше, по сравнению с препаратами ГК. К характерной особенности гумусовых кислот почв молодых вырубков следует отнести уменьшение в составе аминокислот доли циклических (суммарное содержание ароматических и гетероциклических) и возрастание – доли алифатических аминокислот, особенно в препаратах ГК и ФК, выделенных из подзолистого горизонта (табл. 3). По всей видимости, такое изменение в соотношении алифатических и циклических аминокислот связано с существенным ухудшением условий функционирования почвенной микробиоты в первые годы после сведения древостоя. Снижение функциональной активности и численности микробных сообществ обуславливает менее активную трансформацию более доступных с энергетической точки зрения алифатических аминокислот и, соответственно, их относительное накопление в составе макромолекул гуминовых и фульвокислот.

Следует отметить, что по мере восстановления древостоя на вырубках, соотношение

Таблица 3

Некоторые параметры аминокислотного состава гуминовых и фульвокислот, выделенных из подзолистых почв ненарушенного ельника черничного (ПП-1) и лиственно-хвойных насаждений, сформировавшихся на вырубках 2001/2002 (ПП-2) и 1969/1970 (ПП-3) годов

Показатель	Ключевой участок, горизонт почвы					
	ПП-1		ПП-2		ПП-3	
	О	EL	О	ELhg	О	EL
Гуминовые кислоты						
Суммарное содержание аминокислот, г/100 г препарата	9,9	3,2	10,8	15,5	10,2	14,5
Доля алифатических аминокислот (Ал), %	78,9	82,2	79,7	83,6	77,8	79,1
Доля циклических аминокислот (Цл), %	21,1	17,8	20,3	16,4	22,2	20,9
Отношение Ал/Цл	3,7	4,6	3,9	5,1	3,5	3,8
Фульвокислоты						
Суммарное содержание аминокислот, г/100 г препарата	3,2	4,5	4,2	1,6	1,9	4,2
Доля алифатических аминокислот (Ал), %	79,9	87,7	86,8	87,5	75,0	72,8
Доля циклических аминокислот (Цл), %	20,1	12,3	13,2	12,5	25,0	27,2
Отношение Ал/Цл	4,0	7,1	6,6	7,0	3,0	2,7



**Рис. 3.** Соотношение отдельных групп аминокислот в препаратах гуминовых (А) и фульвокислот (В), выделенных из лесных подстилок (О) и подзолистого горизонта (EL и ELhg) подзолистых почв ненарушенного ельника черничного (1) и лиственнично-хвойных насаждений, сформировавшихся на вырубках 2001/2002 (2) и 1969/1970 (3) годов.

алифатических и циклических аминокислот возвращается к исходному состоянию. Причём в гумусовых кислотах почвы участка ПП-3, где лесная подстилка представлена преимущественно опадом мелколиственных пород, характеризующихся высоким содержанием зольных элементов, обуславливающих соответственно снижение кислотности и улучшение условий жизнедеятельности бактериального комплекса, доля алифатических аминокислот снижается не только по сравнению с почвой молодой вырубки, но и целинного ненарушенного леса. Это снижение доли алифатических аминокислот может быть обусловлено не только изменением функциональной активности почвенной микробиоты, но и существенным изменением характера органического вещества самой лесной подстилки (преимущественное включение в процессы гумификации и гумусообразования опада лиственных пород деревьев и травяни-

стого напочвенного покрова) [3, 7, 8]. Следует отметить, что по мере развития древостоя в аминокислотном составе препаратов ГК, кроме того, возрастает доля аспарагиновой и глутаминовой кислоты. Для препаратов ФК отмечена противоположная картина.

### Заключение

Таким образом, сплошнолесосечные рубки еловых лесов, формирующихся в подзоне средней тайги на типичных подзолистых почвах суглинистого гранулометрического состава, оказывают определённое влияние на изменение гумусного состояния подзолистых почв, а также строение и состав высокомолекулярных компонентов гумуса – гуминовых и фульвокислот. Переувлажнение почв на ранних стадиях восстановления растительного покрова на вырубках, снижение активности почвенной микробиоты обуславливают



возрастание миграционной и реакционной способности гумусовых веществ, что прослеживается в: (1) повышении доли кислоторастворимых компонентов гумуса – группы фульвокислот, а в их составе – наиболее «агрессивной» фракции фульвокислот ФК-1а; (2) возрастании подвижности гумуса, за счёт увеличения в его составе фракции гуминовых кислот ГК-1; (3) увеличении в лесных подстилках продуцирования водорастворимых органических соединений. Восстановление древостоя через смену пород приводит к снижению актуальной кислотности верхних горизонтов почв при сохранении основных зональных особенностей органического вещества почв вырубок – преобладании в его составе фульвокислот, слабой степени гумификации почвенного органического вещества, отсутствии или крайне низкой доли гуминовых кислот фракции ГК-2, низкой оптической плотности гуминовых кислот.

Смена пород и изменение условий гумусообразования и гумификации на вырубках определяют соответствующие изменения элементного и аминокислотного составов гуминовых и фульвокислот. Для почв вырубок характерно возрастание доли азота в элементном составе ГК и ФК, а также упрощение строения их макромолекул, о чём свидетельствует возрастание атомных отношений Н:С и суммарного содержания аминокислот в гидролизатах ГК и ФК, выделенных из почв вырубок. Наиболее чувствительным к изменению экологических условий на вырубках еловых лесов в подзоне средней тайги компонентом в структуре гумусовых веществ подзолистых текстурно-дифференцированных почв являются гумусовые кислоты подзолистого горизонта.

*Авторы выражают искреннюю признательность д.б.н. Г. А. Симонову, к.с.-х.н. Г. М. Втюрину, к.б.н. А. А. Дымову за помощь в проведении полевых работ, ведущему инженеру-химику Т. В. Зоновой – за выполнение фракционно-группового анализа гумуса в соответствии с модифицированной нами методикой Кононовой-Бельчиковой.*

### Литература

1. Итоги экономического исследования крестьянского населения Устьсысольского уезда Вологодской губернии / Под ред. Л. Рума. Т. 1. Результаты повторного исследования Верхне-Вычегодских волостей, произведенного в 1902 г. Пермь: Типография газеты «Пермский край», 1903. 399 с.

2. Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми / Под ред. Г.М. Козубова, А.И. Таскаева. М.: Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информациа. Картография», 2000. 512 с.

3. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубок (подзона средней тайги). Сыктывкар. 2007. 84 с.

4. Дымов А.А., Лаптева Е.М. Влияние рубок главного пользования на изменение температурного режима среднетаежных подзолистых почв Республики Коми // Экологические функции лесных почв в естественных и нарушенных ландшафтах: Матер. IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием по лесному почвоведению. Ч. 1. Апатиты. 2011. С. 77–81.

5. Виноградова Ю.А., Лаптева Е.М., Перминова Е.М., Анисимов С.С., Новаковский А.Б. Микробные сообщества подзолистых почв на вырубках среднетаежных еловых лесов // Известия Самарского НЦ РАН. 2014. Т. 16. № 5. С. 74–80.

6. Дымов А.А., Милановский Е.Ю. Изменение органического вещества таежных почв в процессе естественного лесовозобновления растительности после рубок (средняя тайга Республики Коми) // Почвоведение. 2014. № 1. С. 39–47.

7. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // Лесной журнал. 2012. № 3. С. 7–18.

8. Осипов А.Ф., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Дымов А.А. Продуктивность спелого ельника и производных лиственно-хвойных насаждений на типичных подзолистых почвах // Освоение Севера и проблемы природовосстановления: Доклады IX Всероссийской научной конференции. Сыктывкар. 2014. С. 58–62.

9. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.

10. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). М.: Наука, 1980. 222 с.

11. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1966. 256 с.

12. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М., 1978. С. 42-47.

13. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.

14. Мартынов Н.А. Химия почв: органическое вещество почв. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 255 с.

15. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв. СПб.: Наука, 2007. 145 с.

16. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
17. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М. 2000. 50 с.
18. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 326 с.
19. Prescott С.Е., Maynard D.G., Laigo R. Humus in northern forests: Friend or foe? // *Forest Ecol. and Manag.* 2000. V. 133. № 1-2. С. 23–36.
20. Чуков С.Н. Изучение гумусовых кислот антропогенно нарушенных почв методом  $^{13}\text{C}$ -ЯМР // *Почвоведение*. 1998. № 9. С. 1085–1093.
21. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
22. Дымов А.А. Изменение почв в процессе естественного лесовосстановления (на примере подзолов средней тайги, сформированных на двучленных отложениях): Автореф. дис...канд. биол. наук. Сыктывкар, 2007. 24 с.
23. Лаптева Е.М., Бондаренко Н.Н., Дымов А.А. Влияние сплошнолесосечных рубок на изменение органического вещества подзолистых почв // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Матер. X Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. В 2-х кн. Киров: ООО «Лобань», 2012. Кн. 2. С. 117–121.*
24. Бирюкова О.Н., Орлов Д.С. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России // *Почвоведение*, 2004. № 2. С. 171–188.
25. Шамрикова Е.В. Кислотность почв таежной и тундровой зон Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 2013. 160 с.
26. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 316 с.