

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ГУМУСА ПОЧВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Ковалева Н.О., Лузянина О.А., Столпникова Е.М.

*Институт экологического почвоведения МГУ
имени М.В.Ломоносова
natalia_kovaleva@mail.ru*

В статье представлены данные изотопного состава гумуса горных почв заповедника «Басеги». Величины $\delta^{13}\text{C}$ колеблются в широких пределах (от -23,73 ‰ до -27,01 ‰), что свидетельствует о доминировании растений С3-типа фотосинтеза. Установлена положительная корреляция изотопного состава углерода и абсолютной высоты местности ($R = 0,78$).

ВВЕДЕНИЕ

Уникальным природным архивом палеоклиматической информации, которую легко считать с помощью метода геохимии стабильных изотопов, являются горные почвы (Ковалева и др., 2013). Последние распространены в континентальных зонах планеты и для них нетрудно получить радиоуглеродные датировки.

Целью данной работы стало исследование радиоуглеродного возраста и изотопного состава органического вещества горных почв хребта Басеги.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования почвенного покрова проводились на территории заповедника «Басеги» Пермского края, основой рельефа которого является хребет Басеги западного макросклона средней части Урала (рис. 1). Высота над уровнем моря и географические координаты: 952 м, 58°56' с.ш.; 58°29' в.д.

Территория заповедника «Басеги» относится к району средне- и южнотаежных предгорных пихтово-еловых лесов. На склонах хребта Басеги выражены горно-лесной, подгольцовый (субальпийский), горно-тундровый высотно-растительные пояса.

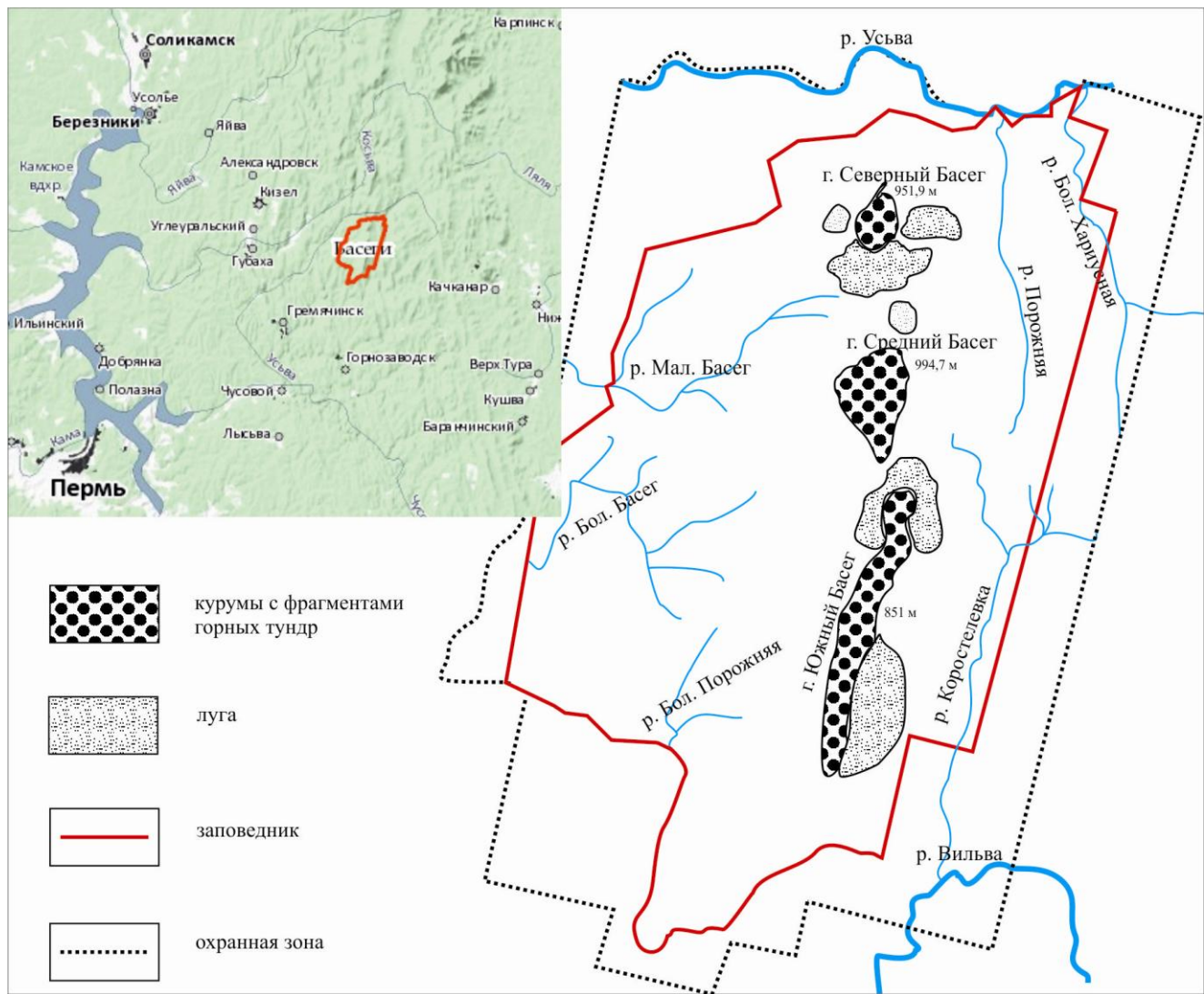


Рис. 1. Схема географического положения заповедника «Басеги»

Материалом для исследований послужили образцы почв, отобранные в ходе экспедиционных работ 2009-2010 гг., выполненных совместно с Самофаловой И.А. Почвообразующие породы – элювиально-делювиальные суглинки и глины.



Рис. 2. Расположение объектов исследования на горе Северный Басег (флажок – места отбора образцов для радиоуглеродного датирования)

Возраст почв определен в почвах двух разных террас (рис. 2) в экотоне лес/тундра на южном склоне горы Северный Басег с помощью радиоуглеродного датирования почвенного гумуса жидкостным сцинтиллятным методом в Киевской радиоуглеродной лаборатории (Украина). Содержание изотопа ^{14}C измерено на низкофоновом спектрометре «Quantulus1220Т». Калибровка радиоуглеродных дат выполнена на основе калибровочной кривой IntCal 13 (Reimer, и др., 2013).

Измерение стабильных изотопов ($\delta^{13}\text{C}$) проведено на комплексе оборудования, состоящем из элементного анализатора Thermo Flash EA 1112 и изотопного масс-спектрометра Thermo Finigan Delta V Plus (Германия) под руководством А.В. Тиунова в ИПЭЭ РАН, г. Москва. Изотопный состав углерода рассчитан по формуле:

$$\delta^{13}\text{C}, \text{‰} = 1000 \left[\frac{R_{\text{образца}}}{R_{\text{стандарта}}} - 1 \right], \text{ где } R = \frac{^{13}\text{C}}{^{12}\text{C}}.$$

В исследованных почвах также ранее был определен ряд физико-химических показателей: актуальная, обменная и гидролитическая кислотность, магнитная восприимчивость, содержание обменных оснований, групповой состав железа и гранулометрический состав, групповой состав гумуса (Самофалова, Лузянина, 2014), характер щебнистости профилей, содержание углерода и азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Дифференциация почвенного покрова заповедника определяется законом высотной зональности. В результате наших исследований установлен следующий порядок вертикальных почвенных зон на склонах хребта Басеги (Шоба и др., 2014):

- 1) горно-лесной пояс (655-315 м н.у.м.) – *буроземы, глееземы*;
- 2) подгольцовый пояс (субальпийский) (830-600 м н.у.м.) – *серогумусовые и темногумусовые, буроземы*;
- 3) горно-тундровый пояс (950-750 м н.у.м.) – *подбуры, петроземы*.

Общими морфологическими признаками почв являются: слабая вертикальная дифференциация почвенных профилей и преобладание признаков метаморфических процессов в них.

Почвы хребта Басеги характеризуются сильнокислой реакцией среды: величины $\text{pH}_{\text{ксл}}$ колеблются от 2,9 в буроземе элювиированном до 3,95 – в буроземе темно-гумусовом. Величины гидролитической кислотности закономерно изменяются в зависимости от типа почвы и почвообразующей породы (табл. 1). Так, минимальные значения гидролитической кислотности (6 – 9 мг-экв/100 г) свойственны иллювиальным горизонтам бурозема лесного пояса и глеезема, сформированных на элювиально-делювиальных суглинках и глинах. Максимальные же цифры гидролитической кислотности (до 22,2 мг-экв/100 г) присущи высокогорным почвам горно-тундрового и подгольцового пояса, развитым на кварцито-песчаниках, суглинках и глинах.

Сумма обменных оснований колеблется в пределах – от 0,2 мг-экв./100 г до 21,4 мг-экв./100 г (табл. 1). Емкость катионного обмена – низкая (табл. 1). Насыщенность почв основаниями варьиру-

ет от 1% в гумусовых горизонтах бурозема элювиированного до 77 % – в породе.

По гранулометрическому составу исследованные почвы – глинистые, так как сформированы на элювиально-делювиальных суглинках и глинах (рис. 3); характер распределения илистой фракции, так же, как и соединений железа, по профилю отражает процессы элювиирования и метаморфизации. Профильные характеристики исследованных почв осложнены их полигенетичным происхождением, что следует из рисунков распределения щебня, например, в разрезе 30 (рис. 3).

Гумусовый профиль всех почв однотипный: высокое содержание гумуса в поверхностных горизонтах (4-7 %) с резким убыванием к породе до 1-2 % (табл. 1). В групповом составе гумуса преобладают фульвокислоты (рис. 3). Максимальное содержание гумуса – высокое (до 8 %), – отмечается в гумусовых горизонтах почв субальпийского пояса (темно-гумусовая метаморфизированная), минимальное – среднее (5,1 %) – в буроземах под лесом. Отношение C/N самое высокое в подбуре горно-тундрового пояса и в буроземе на границе тундры с субальпийской растительностью. Заметно высокие значения C/N имеют верхние горизонты почв под елово-пихтовыми ассоциациями; в субальпийской зоне показатели близки.

Табл. 1. Физико-химические свойства почв (гора Северный Басег)

Разрез, горизонт, глубина, см	Гумус, %	рН		Нг, мг-экв/100 г	Мг-экв./100 г почвы		V, %	
		H ₂ O	KCl		S	ЕКО		
ГОРНО-ТУНДРОВЫЙ ПОЯС								
<i>р. 18 (950 м н.у.м.). Дерново-подбур иллювиально-железистый.</i>								
Лишайниковая тундра. Состав: шикша, голубика, ива сизая, ягель, малина, ветреница пермская, можжевельник сибирский, горец змеиный. Отдельные деревца карликовых берез и ели.								
AУ	6-24	6,20	4,25	3,64	21,4	0,7	22,1	3,2
BF	24-41	2,90	4,42	3,88	17,1	0,2	17,3	1,2
ПОДГОЛЬЦОВЫЙ ПОЯС								
субальпийские луга								
<i>р. 30 (794 м н.у.м.). Бурозем темногумусовый грубогумусированный.</i>								
Березовое криволесье чернично-зеленомошное. Состав: карликовая береза, рябина, кедр, ель, шикша, голубика, горец змеиный, мох, лишайники.								
AU1	13-23	7,15	4,07	3,01	20,7	2,7	23,4	11,5
AU2	23-32	6,60	4,16	3,45	22,2	0,7	22,9	3,1
BM	32-50	2,65	4,48	3,91	13,3	0,5	13,8	3,6
C	50-75	2,75	4,58	3,95	12,4	1,9	14,3	13,3
<i>р. 29 (613 м н.у.м.). Темногумусовая метаморфизированная.</i>								
Куртина луга среди березового криволесья горлецового. Состав: ель, ива, береза, рябина, горец змеиный, зверобой, тысячелистник, лютик, щавель, клевер, черемиха, манжетка, мышиный горошек.								
AU	3-8	5,90	4,67	3,53	15,0	5,0	20,0	25,0
AУel	8-18	7,95	5,00	3,58	15,3	4,2	19,5	21,5

AUm	18-74	4,05	4,70	3,75	15,7	0,9	16,6	5,4
парковое редколесье								
<i>р. 15 (577 м н.у.м.). Бурозем темногумусовый глинисто-иллювирированный.</i>								
Пихтово-еловый аконитовый лес. Состав: ель, береза, рябина, папоротник, аконит, вейник, купырь, малина, смородина, кислица, звездчатка.								
AU	4-10	6,00	4,63	3,44	15,0	8,5	23,5	36,2
BM	10-21	2,70	4,81	3,47	17,3	7,1	24,4	29,1
BMi	21-43	1,40	4,92	3,54	19,8	6,6	26,4	25,0
C	43-70	1,80	5,14	3,72	14,1	5,4	19,5	27,7
<i>р. 22 (557 м н.у.м.). Бурозем темногумусовый элювирированный.</i>								
Пихтово-еловый аконитовый лес. Состав: ельник, единичные березы, аконит, купырь, ель, рябина.								
AU	7-18	5,10	4,76	3,61	13,7	7,9	21,6	36,6
BMel	18-32	1,85	4,95	3,75	12,3	4,4	16,7	26,3
BM	32-50	0,30	4,94	3,77	11,5	6,6	18,1	36,5
ГОРНО-ЛЕСНОЙ ПОЯС								
<i>р. 24 (518 м н.у.м.). Глезем грубогумусированный.</i>								
Ельник хвошево-сфагновый. Состав: ель, ель, кедр, рябина, морошка, клюква, ежевика, голубика, сфагнум.								
Gf	16-36	4,40	4,66	3,38	0,9	4,4	22,9	23,8
C-G	36-58	1,50	4,92	3,35	7,0	1,5	20,2	27,2
Cg	58-70	1,65	5,24	3,35	14,9	1,6	13,9	28,8
<i>р. 10 (400 м н.у.м.). Бурозем элювирированный.</i>								
Ельник кислично-мелкопапоротниковый. Состав: ель, береза, рябина, малина, папоротник, хвощ, заячья кислинка, майник двулистный, дудник лесной; в напочвенном покрове – густой мох.								
AO	4-8	14,9	3,9	2,9	23,2	13,9	37,1	37
AУ	8-21	5,5	4,3	3,2	27,1	0,4	27,5	1
AУel	21-41	5,6	4,8	3,5	21,4	1,3	22,7	6
BMel	41-60	3,2	5,4	3,5	9,2	10,9	20,1	54
BM	60-104	1,5	5,8	3,7	6,5	21,4	27,9	77

Результаты исследования изотопного состава органического вещества почв представлены в таблице 2. Почвы хребта Басеги характеризуются высоким содержанием общего углерода в гумусовых горизонтах 2,46-6,18 %, с глубиной количество резко снижается.

Табл. 2. Изотопный состав гумуса почв хребта Басеги

Почва, горизонт, глубина	$\delta^{13}\text{C}$ ОБ, %	Доля С4-растений % С4 = $\frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{исх}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{C3}}) * 100}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{C4}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{C3}})}$	С, %	$\delta^{15}\text{N}$, ‰	N, %	C/N	
г. Северный Басег							
ГОРНО-ТУНДРОВЫЙ ПОЯС							
<i>р. 18 (950 м н.у.м.). Дерново-подбур иллювиально-железистый.</i>							
AУ	6-24	-23,73	23,37	3,93	5,26	0,2	19,4
BF	24-41	-23,75	23,25	2,27	6,37	0,1	17,5
ПОДГОЛЬЦОВЫЙ ПОЯС							
субальпийские луга							
<i>р. 30 (794 м н.у.м.). Бурозем темногумусовый грубогумусированный.</i>							
Нао	6-13	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.		
AU1	13-23	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.		
AU2	23-32	-24,77	15,91	4,31	5,91	0,3	16,5
BM	32-50	-24,44	18,28	2,41	6,55	0,1	20,2
C	50-75	-24,46	18,16	2,06	6,72	0,1	18,9
<i>р. 29 (613 м н.у.м.). Темногумусовая метаморфизированная.</i>							
AU	3-8	-24,81	15,63	6,18	6,45	0,7	9,4

AYel	8-18	-25,34	11,85	6,13	6,21	0,6	9,7
AUm	18-74	-25,25	12,47	3,55	7,05	0,4	9,6
парковое редколесье							
<i>р. 15 (577 м н.у.м.). Бурозем темногумусовый глинисто-иллювирированный.</i>							
AU	4-10	-25,83	8,32	4,66	3,83	0,4	11,6
BM	10-21	-24,99	14,36	1,42	6,68	0,1	10,1
BMi	21-43	-25,10	13,56	1,26	6,49	0,1	10,7
C	43-70	-25,58	10,11	0,87	4,76	0,1	11,3
<i>р. 22 (557 м н.у.м.). Бурозем темногумусовый элювирированный.</i>							
AU	7-18	-25,15	13,18	5,21	6,08	0,5	10,6
BMel	18-32	-25,15	13,21	1,54	6,57	0,1	10,3
BM	32-50	-25,33	11,90	0,97	5,73	0,1	9,7
ГОРНО-ЛЕСНОЙ ПОЯС							
<i>р. 24 (518 м н.у.м.). Глеезем грубогумусированный.</i>							
Gf	16-36	-27,01	-0,10	3,61	5,06	0,1	25,9
C-G	36-58	-26,03	6,95	0,53	6,97	0,0	11,3
Cg	58-70	-25,61	9,91	0,22	7,30	0,0	6,6
<i>р. 10 (400 м н.у.м.). Бурозем элювирированный.</i>							
AY	8-21	-26,44	4,02	2,46	6,50	0,2	14,9
AYel	21-41	-25,99	7,20	0,78	4,36	0,1	13,7
BMel	41-60	-25,30	12,16	0,39	6,73	0,0	8,9
BM	60-104	-25,02	14,12	0,24	6,79	0,0	7,7

Величины $\delta^{13}\text{C}$ гумуса почв колеблются в широких пределах от -23,73 ‰ до -27,01 ‰, что свидетельствует о доминировании растений С3-типа фотосинтеза. Растительные сообщества С3-типа свойственны деревьям, кустарникам и травам умеренной полосы (Моргун с соавт., 2008) и характеризуются значениями $\delta^{13}\text{C}$ от -22 до -32 ‰ (Фотосинтез С3- и С4-растений..., 1986).

Изотопный состав углерода почв под редколесными фитоценозами горно-тундрового пояса, субальпийских лугов и криволесья горы Северный Басег утяжелен (-23,73 ... -25,83 ‰) по сравнению с почвами под елово-пихтовыми лесами (-25,02 ... -27,01 ‰). В нашем случае выявлена статистически значимая положительная корреляция ($R = 0,78$) величин изотопного состава $\delta^{13}\text{C}$ органического вещества почвенного материала с абсолютной высотой местности. Облегчение значений $\delta^{13}\text{C}$ с понижением гипсометрического уровня было также установлено Ковалевой, Сергеевой (2010) для горных почв Кавказа.

Согласно полученным данным изотопный состав горных почв по профилю неоднороден, происходит как его обеднение (разрезы 18, 29, 22), так и обогащение тяжелым изотопом углерода вглубь (разрезы 10, 24, 15, 30), диагностируя меняющиеся условия педогенеза. Утяжеление изотопного состава гумуса связывают с дыханием биоты, вызывающей деструкцию почвенных органических соединений (Boutton, 1991, цит. по Моргун и др., 2008). Почвенные организмы богаче тяжелым изотопом углерода, чем его источник

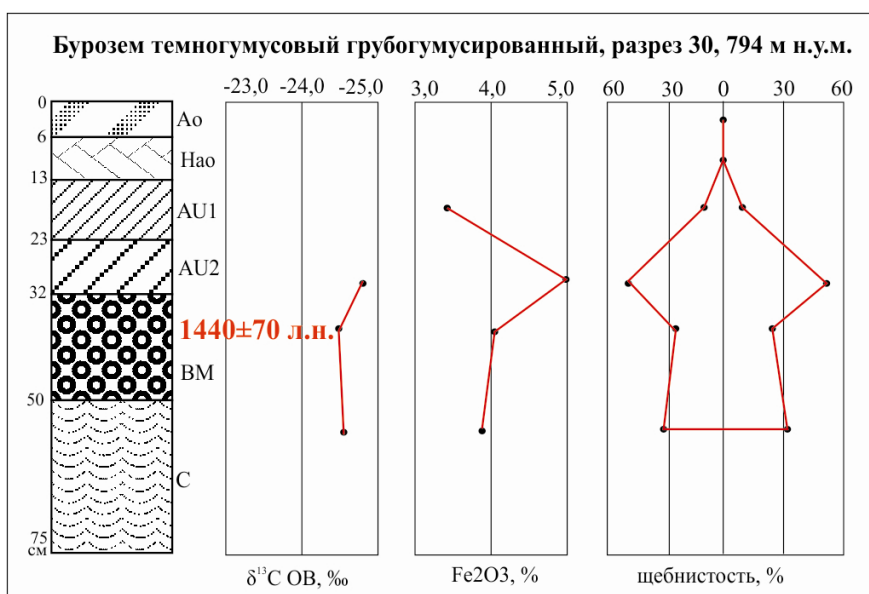
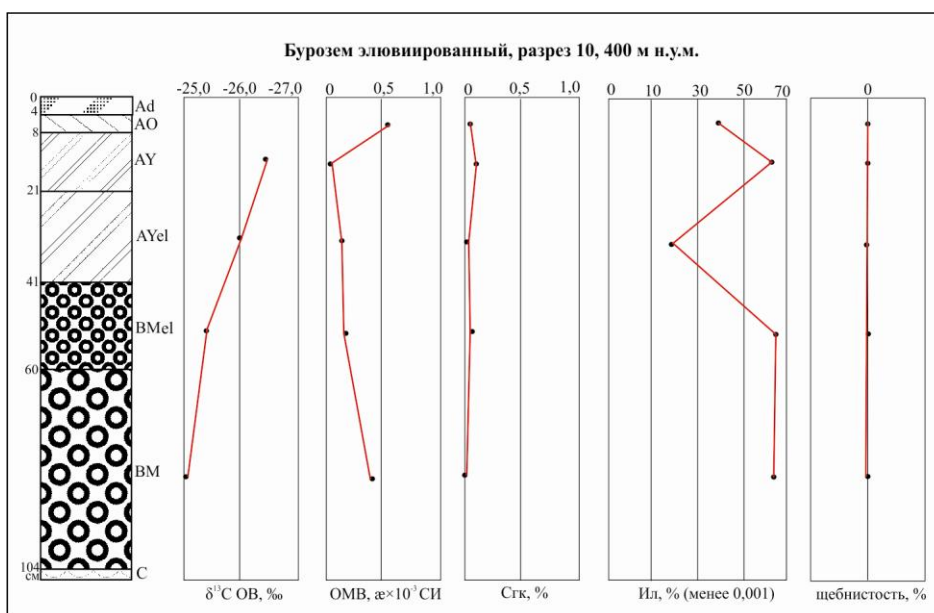
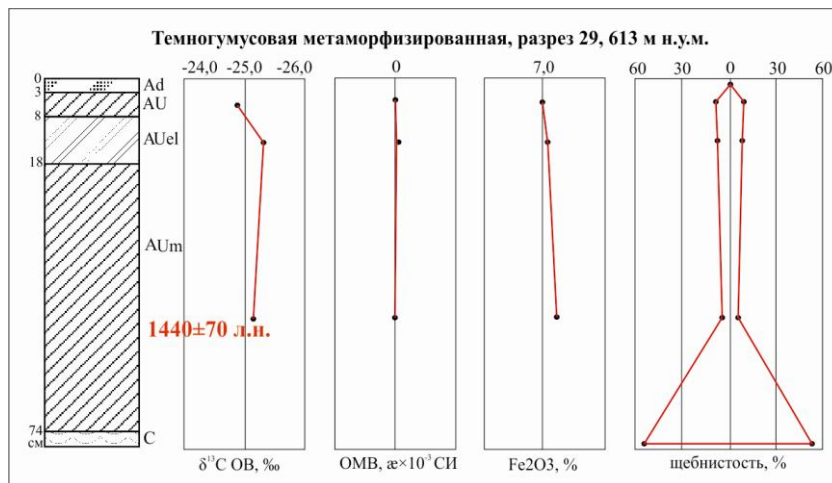
для этих микроорганизмов и беспозвоночных (Моргун и др., 2008). Возможно влияние на профильное изменение значений $\delta^{13}\text{C}$ биоклиматических условий и фракционирования изотопов в процессе почвообразования (Моргун и др., 2008).

Тяжелые изотопные значения объясняют увеличение доли С4-растений, что говорит о сухих условиях климата (Моргун и др., 2008). Среди растений С4 типа высока доля злаков (до 61 %), осок, маревых (около 40 %) (Фотосинтез С3- и С4-растений..., 1986), семейства которых представлены в растительном покрове территории заповедника. С4 фотосинтез, по сравнению с С3, дает растениям ряд преимуществ в сухих и жарких условиях климата (Тиунов, 2007).

Возраст иллювиального горизонта разреза 30 на глубине 32-50 см – 1440 ± 70 л.н. (Ki-18779). Высокий процент С4-растений в нем (18,28-18,16 %), по сравнению с вышележащим горизонтом, указывает на относительно сухой климат, вероятно, периода «малого климатического оптимума» (фаза SA-1). На западном склоне Среднего Урала в фазу SA-1 теплый и сухой климат привел к распространению в составе лесов широколиственных пород, по меньшей мере, на 100 м вверх и на 50 м вниз (Турков, 1981). Резкое снижение доли С4-растений 15,91 % в гор. AU2 (глубина 23-32 см), вероятно, говорит о наступлении прохладного и влажного «малого ледникового периода» на Урале.

Меньший возраст гумуса в нижней части гумусового горизонта разреза 29 - 1300 ± 90 л.н. (Ki-18778) и невысокая доля в составе растительных ассоциаций растений С4-типа фотосинтеза – 12,47 % в гор. AUm, – также свидетельствует о наступившем прохладном и влажном «малом ледниковом периоде» на Среднем Урале. В дневном горизонте почвы AU на глубине 3-8 см возросшая величина % С4 = 15,63 может свидетельствовать о современном потеплении за последние 50 лет.

Наши данные соответствуют установленной закономерности снижения доли С-4 растений с уменьшением абсолютной высоты (Boutton et al., 1980), $R = 0,78$.



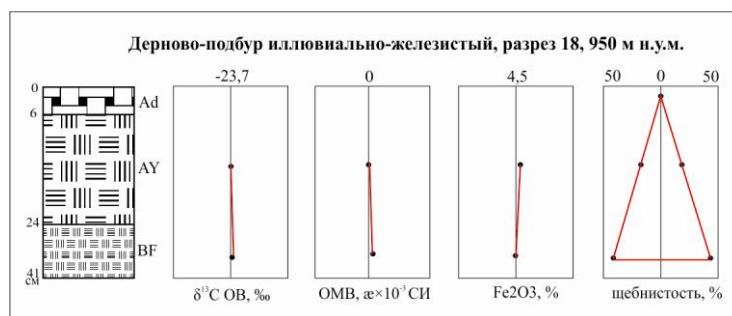
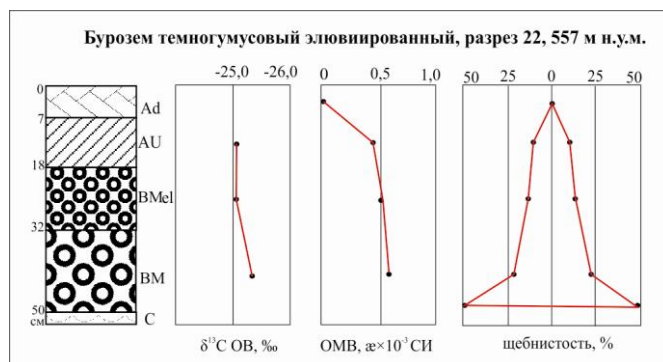
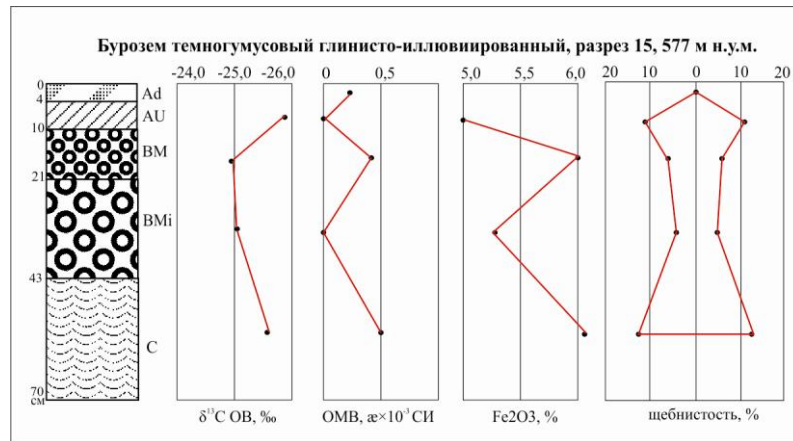
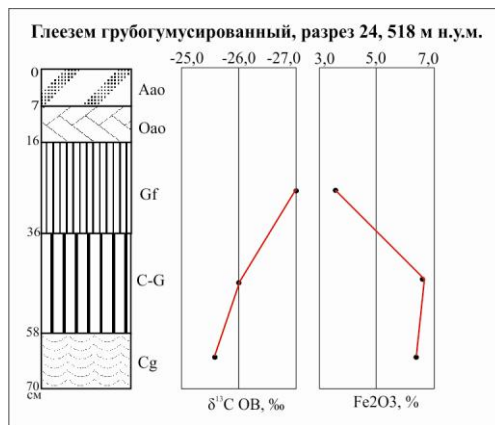


Рис. 3. Кривые профильного распределения изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и некоторых физико-химических показателей исследованных почв

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сопоставление полученных физико-химических свойств изученных почв с их изотопным составом обнаруживает высокую степень пространственной и временной дифференциации почвенного покрова и отсутствие четких закономерностей в распределении величин рН, содержания гумуса или магнитной восприимчивости в вертикальном ряду почв. Однако, изотопный состав почв, являясь более строгим отражением вертикальных растительных поясов и градиента температур и влажности, и не зависящий от свойств почвообразующей породы, демонстрирует закономерное утяжеление изотопных отношений с подъемом гипсометрического уровня.

Время формирования буроземов на Среднем Урале – 1300-1450 лет назад, что соответствует и дате возраста бурозема Северного Кавказа 1480 лет (Ковалева, Сергеева, 2010).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалева Н.О., Добровольский Г.В., Столпникова Е.М. Изотопный состав углерода почв в диагностике изменений климата: состояние проблемы и вероятные сценарии. / Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова / Под ред. Г.В. Добровольского, Н.О. Ковалевой. – Вып. 13 – М: МАКС Пресс, 2013. – с. 7-20.
2. Ковалева Н.О., Сергеева П.А. Горные почвы Восточного Кавказа как палеоклиматический архив голоцена. /Естественные и технические науки, № 4 (48), 2010, с . 90-100.
3. Моргун Е.Г., Ковда И.В., Рысков Я.Г., Олейник С.А. Возможности и проблемы использования методов геохимии стабильных изотопов углерода в почвенных исследованиях (обзор литературы) // Почвоведение. 2008. № 3. с. 299-310.
4. Самофалова И.А., Лузянина О.А. Горные почвы Среднего Урала (на примере ГПЗ «Басеги»). М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2014. 154 с.
5. Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // Изв. РАН. Сер. Биол. 2007. № 4. с. 475-489.
6. Турков В.Г. Многовековая ритмика природной среды и динамика лесного биогеоценологического покрова среднеуральского низкогорья в антропогене // Взаимосвязи среды и лесной растительности на Урале. Изд-во АН СССР. Урал. научн. центр. 1981. с. 3-39.
7. Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез С3- и С4-растений: механизмы и регуляция: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 590 с.

8. Шоба С. А., Ковалева Н. О., Самофалова И. А., Лузянина О. А. Особенности пространственной дифференциации почв заповедника "Басеги" (Средний Урал) // Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова / Под ред. Н.О. Ковалевой. – Т. 14. – МАКС Пресс Москва, 2014. – с. 5-17.
9. Boutton T.W. Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. *Carbon Isotope Techniques*. 1991. p. 173-185.
10. Boutton T.W., Harrison A.T., Smith B.N. Distribution of biomass of species differing in photosynthetic pathway along an altitudinal transect in southern Wyoming grassland // *Oecologia*. 1980. 45. p. 287–298.
11. Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Haflidason, H., Hajdas, I., Hatt, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., & van der Plicht, J. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP // *Radiocarbon*, 55(4).