

ИЗОТОПНАЯ ПОДПИСЬ ПОЧВ В ДИАГНОСТИКЕ ПРОЦЕССОВ АРИДИЗАЦИИ ЛАНДШАФТОВ ДАГЕСТАНА

© 2022 г. Н.О. Ковалева

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12. E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru*

Поступила в редакцию 20.10.2021. После доработки 23.11.2021. Принята к публикации 11.12.2021.

Любые вызовы неустойчивой в последнее время климатической системы планеты проявляются прежде всего в «краевых частях» биосферы, к которым относятся горные ландшафты. Горные экосистемы аридных регионов отличаются особой хрупкостью по отношению к естественным или антропогенным внешним воздействиям и наиболее длительно восстанавливаются после нарушения. Цель нашего исследования – с привлечением метода стабильных изотопов изучить характер и особенности воздействия на экосистемы Внутреннего Дагестана климатических и антропогенных факторов, сменявших друг друга или действовавших совместно на протяжении голоцена, оценить их вклад в современную прогрессирующую аридизацию ландшафтов Восточного Кавказа. Почвенный покров вертикальных зон (от 2000 до 4000 м н.у.м.). Восточного Кавказа изучался в Ахтынском районе Внутреннего Дагестана на участках с разными видами хозяйственной деятельности (пастбища с разной интенсивностью выпаса, сенокосы, естественные луга). Методы исследования включали определение общих химических свойств почв (актуальной кислотности, содержания углерода и азота), магнитной восприимчивости, показателей гумусного состояния почв, масс-спектрометрическое определение изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$), определение возраста почв методом радиоуглеродного датирования гумуса. Установлено, что следствием динамичных условий почвообразования является полигенетичный облик почвенного покрова: эпохам стабилизации поверхности соответствуют погребенные горизонты и почвы, эпохам активизации экзогенеза – слои повышенной щебнистости и горизонты породы. Выявлена контрастность свойств погребенных почв разного возраста, дневных и погребенных горизонтов. Следовательно, разновременные эпохи формирования погребенных почв отличались и климатическими условиями: аридные эпохи раннебореального и атлантического оптимумов голоцена циклически сменялись более холодными и гумидными, а средневековый оптимум отличался умеренным климатом, сходным с современным. Малый ледниковый период на территории Внутреннего Дагестана не был ярко выражен. Однако установленный тренд увлажнения климата нивелируется «остепнением» ландшафтов в результате их антропогенного освоения.

Ключевые слова: горные почвы, голоцен, палеосреда, изотопный состав углерода.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-51-61

Новые вызовы меняющейся климатической системы планеты проявляются в усилении интенсивности стихийных бедствий и нарастающем потеплении климата. Они ставят перед естествознанием задачу поиска пространственных закономерностей развития региональных геосистем во времени, диктуют необходимость разработки комплексных региональных палеоэкологических реконструкций для составления прогнозных моделей природных явлений и процессов. Но любой климатический сценарий, даже кратковременный, прежде всего проявляется, регистрируется и обладает наименьшей инерционностью в «краевых частях» биосферы – в горных ландшафтах.

Однако из-за повышенной сенсорности горные экосистемы, в частности, аридных регионов, отличаются особой хрупкостью по отношению к естественным или антропогенным внешним воздействиям. Они наиболее трудно и длительно восстанавливаются после нарушения из-за близости

к поверхности массивно-кристаллических пород, значительных уклонов и сложности горного рельефа, короткого вегетационного периода и т.д. При полном уничтожении почвенного покрова ландшафты становятся невозобновляемыми вовсе.

Так, структура почвенного покрова горных и предгорных территорий Дагестана сложна, ее характер определяется не только частой сменой почвообразующих пород и рельефом, но и в значительной степени историей смены биогеоценозов (Котенко, 2018). Для каждой высотной зоны характерна своя особая серия пройденных этапов во взаимоотношениях лесной и степной растительности, естественных и антропогенных нарушений, наложивших отпечаток на эволюцию ландшафтов. Для Восточного Кавказа, например, Б.А. Будагов с соавторами (1986) считает движущим фактором эволюции – антропогенный. Именно с ним автор связывает начало процесса снижения верхней границы леса. Ведь начиная с неолита из-за интенсивного выпаса овец в переходной полосе от горных лесов к горным лугам (1800-2400 м н.у.м.) прекратилось самовозобновление горных лесов. В настоящее время на преобладающей территории Восточного Кавказа верхняя граница лесов расположена на 200-300 м ниже ее естественного положения. В заповедниках она имеет отметки 2300-2400 м н.у.м. Также изменились состав и структура леса: он стал более разреженным и представлен в основном послелесными формациями. По нашим данным (Быковская, Ковалева, 2010), этот процесс на Большом Кавказе продолжается и сейчас. Он во многом определяется изменениями климата и распадом горного оледенения. Однако палеоэкологические архивы горного Дагестана пока еще остаются недостаточно изученными, а радиоуглеродные датировки погребенных почв в большинстве своем недоступны для прогнозного моделирования. Одним из самых перспективных методов изучения реликтовых признаков органического вещества почв является метод геохимии стабильных изотопов (Kovaleva, 2018). Специфическое соотношение стабильных нерадиоактивных изотопов или неустойчивых радиоактивных изотопов определенных химических элементов в исследуемом материале называется изотопной подписью или изотопной сигнатурой. В нашем случае в качестве атомарных биомаркеров растительности выбраны соотношения изотопов органических элементов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. Величина $\delta^{13}\text{C}$ в растительных тканях зависит от типа фотосинтеза, т.е. от биохимических особенностей ассимиляции углекислого газа. А углерод-обменная система планеты, в свою очередь, напрямую зависит от климата. Такая углерод-изотопная чувствительность растений к климатическим параметрам может быть использована в качестве основы для палеоклиматических реконструкций при изучении органического вещества почв. Дальнейшее фракционирование изотопов в почве зависит от микробиоты. Условия превращения органических остатков в гумус корректируются величиной $\delta^{15}\text{N}$.

Цель исследования – с привлечением метода стабильных изотопов изучить характер и особенности воздействия на экосистемы Внутреннего Дагестана климатических и антропогенных факторов, сменявших друг друга или действовавших совместно на протяжении голоцена, оценить их вклад в современную прогрессирующую аридизацию (Залибеков, Гамзатова, 2017) ландшафтов Восточного Кавказа.

Объекты и методы исследований

Климат Внутреннего Дагестана в значительной степени обусловлен рельефом. Предгорная зона, несмотря на небольшую высоту, перехватывает большую часть влажных атмосферных масс, идущих со стороны Каспийского моря. Это главная причина сухости горного Дагестана. В районе исследований количество осадков достигает 1500 мм в год при испаряемости 600-700 мм. Среднегодовая температура воздуха – 4-7°C, продолжительность периода с температурой воздуха более 10°C составляет 15 дней, сумма активных температур – 2000-2500°C. Максимальная температура воздуха – 30-35°C, минимальная – -25°C (Залибеков, 1982).

Внутренний Дагестан по составу почвообразующих пород разделяется на две части: меньшую, северо-восточную известняковую, или Нижний Дагестан, и большую, юго-западную сланцевую, или Верхний Дагестан. Известняковый Дагестан сильно расчленен эрозией: длинные островерхние хребты чередуются с широкими плосковерхими, ущелья сменяются котловинами, столовыми горами и круто обрезанными плато. К известнякам, песчаникам, доломитам, мергелям и алебабрам приурочены, как правило, горные лугово-степные почвы, а к глинистым сланцам – горно-луговые.

Наиболее характерной растительностью горного Дагестана являются нагорные ксерофиты: астрагал трагакантовый (*Gummi tragacanthae*¹), татарник дагестанский (*Onopordum dagestanis*), эфедра (*Ephedra*), шалфей седеющий (*Salvia canescens*), шлемник восточный (*Scutellaria orientalis*). При этом к известковым породам приурочены степные виды растений – типчак (*Festuca*), ковыль (*Stipa*), тонконог (*Koeleria*). В высокогорье (на глинистых сланцах) появляется типичная луговая растительность: клевер (*Trifolium*), эспарцет (*Onobrychis*), злаковые.

Для изучения характера почвенного покрова Восточного Кавказа в Ахтынском районе Внутреннего Дагестана (массив горы Шалбуздаг, 4141 м н.у.м.) в ходе комплексной экспедиции МГУ и Дагестанского научного центра РАН (руководитель работ – З.Г. Залибеков) было заложено 30 почвенных разрезов (рис. 1), которыми вскрылись следующие типы почв.²

1. Горные лугово-степные почвы – на известняковых породах и моренах раннего голоцена в Нижнем Дагестане (2000-2500 м н.у.м.) под типчаково-ковыльной растительностью (разрезы № 3, 4, 5, 10, 11, 20, 22).

2. Горные черноземы – на известняковых породах ниже морен последнего ледникового наступания (1900-2000 м н.у.м.) под типчаково-ковыльной растительностью (разрезы № 6, 12, 24).

3. Горно-луговые субальпийские (разрезы № 1, 2, 7, 14, 15, 119, 120, 121) и альпийские почвы (разрезы № 13, 114, 115, 116, 117) под разнотравной субальпийской и альпийской луговой растительностью на сланцевых породах и моренах позднего голоцена в Верхнем Дагестане (2500-4000 м н.у.м.).

При этом разрезы № 4-6 и 10-12 заложены на сенокосных угодьях, № 16 и 20 – на участке пастбищеоборота (контролируемый выпас), № 23 и 24 – на естественном лугу, а остальные – на пастбищах с разной интенсивностью выпаса.

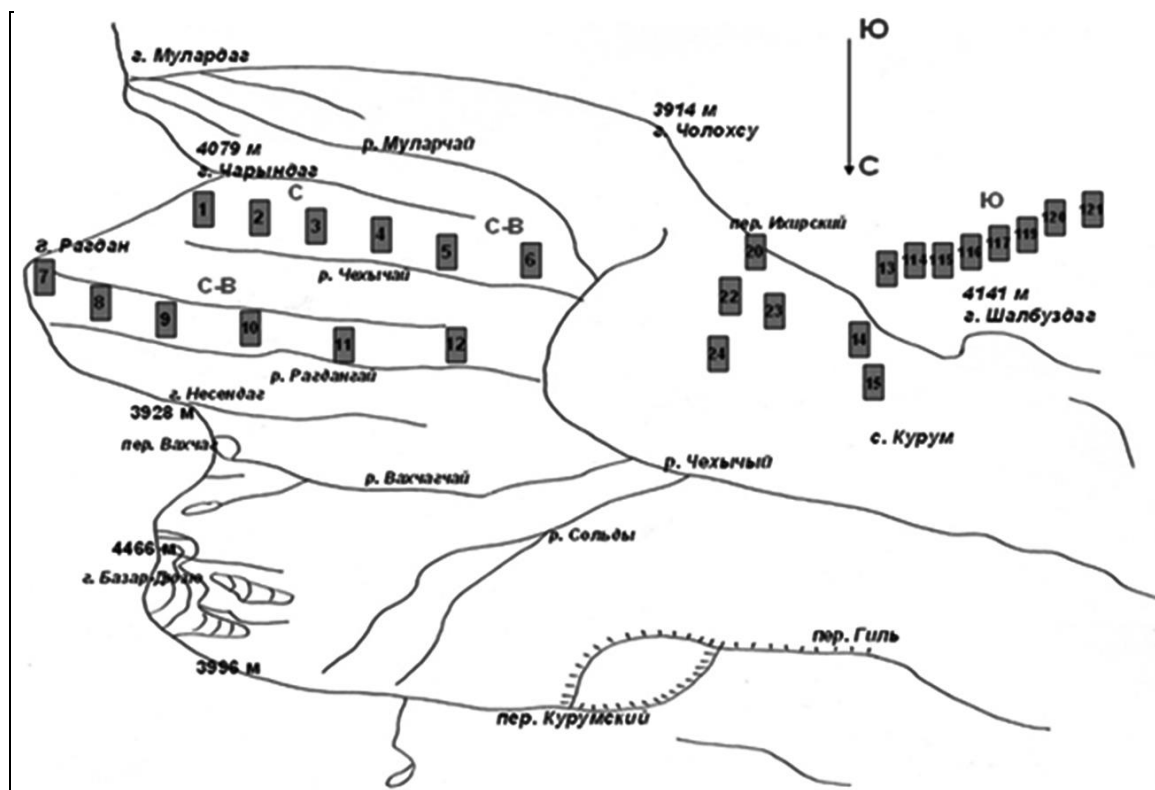


Рис. 1. Схема расположения почвенных разрезов в районе исследований.

Методы исследования включали определение актуальной кислотности, содержания углерода и азота органических соединений на CNS-анализаторе, магнитной восприимчивости каппаметром

¹ Латинские названия растений приводятся по работе С.К.Черепанова (1995).

² Названия почв даны по Классификации и диагностике почв СССР (1977).

модели КТ-5, анализ спектральной отражательной способности почв, группового состава гумуса по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой (Орлов, Гришина, 1981), спектров поглощения щелочных растворов (0.1н NaOH) гуминовых кислот 2 фракции на спектрофотометрах СФ-18 по методике Д.С. Орлова и Л.А. Гришиной (1981). Определение изотопного состава углерода органического вещества почв выполнялось в Институте проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова, с использованием масс-спектрометра Thermo-Finnigan Delta V Plus IRMS и элементного анализатора Thermo Flash1112. Данные выражены в $\delta^{13}\text{C}\%$ по отношению к стандарту PDB. Для удаления карбонатов почвы были предварительно подвергнуты фумигации (Harris et al., 2001).

Также в некоторых образцах методом радиоуглеродного датирования был определен возраст почв. Выделение счетной формы (бензола) и определение возраста производилось в лаборатории Центра изотопных исследований Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.П. Карпинского на жидкостно-сцинтилляционном альфа-бета-спектрометре Quantulus 1220.

Результаты исследований

Анализ морфологии профилей почв обнаруживает, что они представляют собой совокупность горизонтов различного генезиса. Горизонты почв перекрыты щебнистыми прослоями или слоями, богатыми щебнем, что свидетельствует о чередующихся этапах седиментогенеза и почвообразования. Интересно заметить, что формы профилей щебнистости хорошо коррелируют с высотами, для которых выделены (Будагов, 1986) положения стационарирования ледников в позднеледниковье и голоцене и, на первый взгляд, отражают закономерности распада последнего оледенения горных вершин: Лезинская стадия (2500-2600 м н.у.м.) – 150-91 тыс. лет назад, Шахдюзинская стадия (2800-3000 м н.у.м.) – 12.8-9.7 тыс. лет назад, Шахюрдская стадия (3000-3200 м н.у.м.) – 10-8 тыс. лет назад. В почвах, используемых под сенокос, щебень размером менее 1 мм составляет от 73% до 98% от общего количества щебня, а доля щебня размером более 10 мм стремится к 0, наблюдается также тенденция увеличения содержания щебня к нижней части профиля. В почвах пастбищ содержание щебня размером более 10 мм в верхних горизонтах достигает в некоторых случаях до 25%. Щебень размером 1 мм и менее составляет уже от 9% до 84% (чаще – около 50%) от общего, а к нижним горизонтам почв его содержание падает. Описывая похожие явления на Северо-Западном Кавказе, А.И. Ромашкевич (1988) называл их «выходом щебня на поверхность» в результате перевыпаса.

Закономерно ухудшается и структура почв по мере увеличения антропогенной нагрузки. Если структура гумусово-аккумулятивных горизонтов горно-луговой альпийской почвы, используемой под сенокос, комковатая, то структура почв, используемых под пастбище, либо плохо выражена или отсутствует вовсе, либо отличается глыбистостью.

При перевыпасе происходит уплотнение почвенной массы (табл. 1). Плотность сложения почв естественных лугов, на которых ведется бессистемный выпас, заметно выше объемного веса почв сенокосных территорий, с, на которых выпас не производится. При этом величина плотности сложения сухой почвы пастбища с контролируемым выпасом, такая же или чуть выше, чем у почв под сенокосами.

Профили горно-луговых почв Дагестана содержат ритмичные серии пространственно выраженных погребенных гумусовых горизонтов, некогда бывших дневными. При изреженности растительного покрова в почвах этих аридных ландшафтов дерновый горизонт в них часто фрагментарен. Современные дневные гумусовые горизонты отличаются буровато-серой или буровато-черной окраской, комковато-порошистой структурой, среднесуглинистым гранулометрическим составом, разной плотностью; границы с нижележащими горизонтами у них затечные или ровные. Для этих горизонтов характерно отсутствие щебня и наличие большого количества корней.

Погребенные гумусовые горизонты отличает от современных более темная окраска, лучшая оструктуренность, наличие железистых новообразований и даже глинистых кутан – свидетелей длительных периодов повышенной увлажненности, большая мощность (до 41 см), большое количество отмерших корней (разрезы № 13, 14, 115, 116). Заметные переходы между горизонтами и ровные границы говорят об отсутствии мощных процессов вертикального переноса веществ, что отвечает современным климатическим условиям.

Таблица 1. Некоторые физико-химические свойства исследуемых почв.

Почва, угодье, номер разреза	Название горизонта и глубина, см	pH _{H2O}	Магнитная восприимчивость, $\chi \cdot (10^{-6} \text{ СГСМ})$	Гумус, %	Плотность сложения сухой почвы, г/см ³
Горно-луговая альпийская, пастбище, 13	A 0-10	8.3	12.00	1.33	1.20
	AB 19-42	7.5	11.23	1.22	1.27
	B 42-67	7.9	11.47	1.82	1.43
Горно-луговая альпийская, пастбище, 115	A 0-22	6.8	12.82	4.15	1.00
	B 22-45	6.9	10.18	1.74	1.22
Горно-луговая альпийская, пастбищеоборот, 116	AB 33-53	6.4	8.02	4.74	0.74
	B 55-75	6.6	12.15	4.78	0.92
	[A] 75-115	6.5	9.91	1.55	1.00
Горная лугово-степная, сенокос, 4	A 0-6	6.0	48.81	14.08	0.48
	A 6-32	5.6	43.80	3.99	0.94
	[A] 32-78	5.8	40.08	3.28	1.06
Горная лугово-степная, сенокос, 5	A 0-6	6.3	66.06	16.15	0.61
	A 6-20	5.8	71.54	3.73	1.00
	AB 20-40	5.8	57.22	3.80	0.92
	B 40-60	5.6	7.5	1.27	0.96
Горный чернозем, луг, 6	A 0-6	6.1	74.14	14.73	0.68
	AB 6-36	5.3	74.57	4.45	0.95
Горно-луговая альпийская, пастбище, 117	A 0-15	6.7	46.80	1.31	1.37
	AB 15-35	6.3	31.96	3.12	1.07
	[A] 72-137	6.7	33.71	2.49	1.23
Горно-луговая субальпийская пастбище, 14	A 0-10	7.1	19.15	9.11	1.00
	AB 19-42	7.2	21.62	1.01	1.22
	[A] 42-69	7.6	19.14	2.49	1.05
	[AB] 70-92	7.9	14.82	1.53	1.03
	C 92-130	6.9	15.52	1.16	1.10
Горно-луговая субальпийская, пастбище, 15	A 0-16	7.2	40.25	5.00	1.22
	B 16-52	7.7	32.63	3.45	1.37
	BC 85-103	7.8	9.26	2.02	1.22
Горная лугово-степная, пастбище, 20	A 0-25	7.0	83.74	4.86	1.12
	AB 25-46	7.1	111.82	3.31	1.34
	B 46-73	7.4	96.07	2.24	1.45
	BC 73-120	7.7	10.01	1.82	1.54
Горная лугово-степная, пастбищеоборот, 22	A 0-19	6.4	11.15	7.32	0.70
	C 19-48	7.2	12.66	2.58	1.01
	[A] 28-85	7.7	13.53	2.58	1.18
	C 85-105	7.5	14.71	1.99	1.23

Цветовые характеристики почв, являясь следствием результатов почвообразования, хранят информацию об эволюции почв и направленности почвообразовательных процессов. Спектры отражения изучаемых почв представлены тремя типами кривых: 1) пологими – для гумусо-аккумулятивных горизонтов лугово-степных почв (разрез № 22, табл. 1), 2) пологими кривыми с

высоким уровнем отражения – для сильно окисленных горизонтов (разрез № 115, табл. 1), 3) кривыми с двумя перегибами в области 410-480 нм и 540-640 нм. Последние диапазоны обусловлены влиянием соединений железа, характерны для некоторых погребенных горизонтов полигенетических почв (разрез № 16, табл. 1).

Величины отражения увеличиваются вглубь профиля, и уменьшается в ряду: горно-луговые альпийские – горно-луговые субальпийские – горно-луговые степные почвы.

Числовые характеристики отражения указывают на двучленность горно-лугово-степной почвы разреза № 22 и горно-луговой альпийской почвы разреза № 16. Погребенные горизонты отличаются неярко выраженными «иллювиальными» спектрами отражения и значительно повышенными спектральными характеристиками по сравнению с вышележащими слоями (табл. 1).

Исследованные почвы имеют нейтральную, средне- и слабощелочную реакцию среды (табл. 2). Погребенные горизонты отличаются повышенной величиной рН по сравнению с дневными. Содержание гумуса в почвах Дагестана оценивается как высокое и среднее в дневных горизонтах, низкое и среднее (Орлов, Гришина, 1981) в нижележащих. Характер распределения значений по профилю – регрессивно-аккумулятивный.

Изотопный состав углерода гумуса, определенный в профилях исследуемых почв впервые, обнаруживает две области значений: более легкие (-25-26‰) в верхних горизонтах и утяжеленные (-23-24‰) в нижних. Первые из упомянутых величин $\delta^{13}\text{C}$ характеризуют современные растительные ассоциации с типом фотосинтеза С4. Он типичен для растений умеренных широт и диагностируют умеренно-влажный климат лугово-степного пояса. Возраст гумуса, сформированного данными растительными остатками, составил 610 ± 150 лет (RGI-54). А значит, почвы интенсивно развивались в средневековый климатический оптимум – около 1251-1449 гг. (калибровка выполнена по калибровочной кривой М. Stuiver и Р. J. Reimer (1993)). Интересно отметить, что средневековый оптимум по изотопному составу гумуса не отличается от современной эпохи, но характеризуется большей увлажненностью климата, нежели предшествующие оптимумы голоцена.

Утяжеление значений $\delta^{13}\text{C}$ в погребенных частях профилей адекватно отражает более засушливую (степную) фазу фотосинтеза раннебореального времени с большей долей в составе растительных ассоциаций растений С3 типа фотосинтеза. Возраст погребенного горизонта в разрезе № 14 оказался равным 8060 ± 240 лет (RGI-57), что соответствует календарному возрасту 7307-6688 до н. э. При этом верхняя граница раннебореального оптимума на Восточном Кавказе, выходит за общепринятые рамки, которые обычно ограничены интервалом в 9000-8500 лет. На основании полученных данных можно сделать однозначный вывод о том, что в раннебореальный период голоцена пояс гор на высоте около 3000 м н.у.м. был представлен аридными степными ландшафтами, а количество осадков было меньшим, чем сегодня.

Аналогично более аридным по сравнению с современной и средневековой эпохами выглядит по величинам $\delta^{13}\text{C}$ (-23-24‰) и атлантический оптимум голоцена в Дагестане. Возраст гумуса погребенного горизонта из разреза № 22 составил 6430 ± 270 лет (RGI-56), его календарный возраст колеблется в интервале от 5847 до 4766 гг. до н.э. Отчетливое нарушение профилей и наличие в почвах данного региона (горизонт А разреза № 14) прослоев щебня между разновозрастными горизонтами свидетельствует о значительном увеличении количества осадков и активном развитии процессов экзогенеза в промежуточные эпохи похолодания климата.

Важно подчеркнуть, что профильное распределение изотопного состава углерода гумуса обратно коррелирует с величинами магнитной восприимчивости (коэффициент корреляции – -0.7-0.9), подтверждая верность выделения различных этапов климатогенного педолитогенеза (табл. 2).

Горно-луговые и горные лугово-степные почвы Дагестана характеризуются фульватно-гуматным и гуматным типом гумуса (табл. 3). Гуминовые кислоты второй фракции преобладают в групповом составе. Увеличение содержания гуминовых кислот, в том числе второй фракции, а также увеличивающиеся к нижней части профиля значения коэффициентов экстинкции могут свидетельствовать о том, что данные почвы прошли более сухую стадию развития. Горно-луговая субальпийская почва демонстрирует наименьшее значение $\text{C}_{\text{гк}}/\text{C}_{\text{фк}}$ в погребенном горизонте, что указывает на холодные условия ее формирования. Для горной лугово-степной почвы это значение близко к $\text{C}_{\text{гк}}/\text{C}_{\text{фк}}$ дневных гумусовых горизонтов.

Низкие значения коэффициентов экстинкции (табл. 3) гуминовых кислот и показателей гумификации почв Восточного Кавказа свидетельствуют о крайне низкой ароматичности гуминовых кислот и разветвленности их периферических частей. Оценка крутизны спектральных кривых с помощью коэффициента Алешина и величины коэффициента цветности показали резкое отличие погребенного горизонта от всех остальных. Коэффициент Алешина в нем достигает значений 1.33 и 5.02, коэффициент цветности – 1.28 и 2.53. Это говорит о наибольшей молекулярной массе и пониженной степени окисленности гуминовых кислот погребенного горизонта горно-луговой степной почвы, а также о его формировании в аридную эпоху, по-видимому, в условиях отсутствия выпаса.

Таблица 2. Характеристика спектральной отражательной способности почв.

Название почвы, номер разреза	Название горизонта (глубина, см)	ρ_{750}^*	ρ_{400}	$\text{tg}\alpha^{**}$	$h, \%^{***}$
Горно-луговая альпийская, 13	AB (19-42)	43.00	24.00	0.054	2.00
	B1 (42-67)	47.25	24.75	0.064	3.25
Горно-луговая субальпийская, 14	A (0-10)	25.75	19.30	0.023	3.15
	AB(19-42)	31.75	21.15	0.030	1.05
	Ab (42-69)	33.50	22.00	0.033	1.50
	ABb (70-92)	37.00	23.80	0.038	2.00
	C(92-130)	37.50	23.50	0.040	1.65
Горно-луговая альпийская, 15	A (0-16)	28.75	20.50	0.024	1.00
	B(16-52)	34.50	22.00	0.036	1.25
	BC(85-103)	45.75	24.50	0.061	3.40
Горно-луговая субальпийская, 16	AB (33-53)	43.00	23.50	0.056	3.10
	B (55-75)	31.00	22.50	0.024	1.00
	Ab (75-115)	47.50	24.80	0.065	2.35
Горно-луговая альпийская, 17	AB (15-35)	30.00	20.25	0.028	1.00
	Ab (72-137)	43.25	24.30	0.054	2.75
Горная лугово-степная, 20	A (0-25)	22.50	19.50	0.009	-0.50
	AB (25-46)	19.50	18.75	0.002	-0.75
	B(46-73)	20.00	19.00	0.003	-0.75
	BC (73-120)	33.50	23.20	0.029	1.00
Горная лугово-степная, 22	A (0-19)	25.20	20.00	0.015	1.30
	C (19-48)	32.00	22.90	0.026	0.75
	Ab (28-85)	29.00	22.00	0.020	0.65
	C (85-105)	30.50	22.75	0.022	0.60
Горно-луговая альпийская, 115	A (0-22)	39.50	24.50	0.043	1.65
	B (22-45)	37.50	23.25	0.041	1.35

Примечания к таблице 2: ρ_{750}^* – оптическая плотность при длине волны 750 миллимикрон, $\text{tg}\alpha^{**}$ – тангенс угла наклона спектральной кривой, $h, \%^{***}$ – высота перегиба спектральной кривой.

Оценка крутизны спектральных кривых методом Салфелда (путем сравнении крутизны спектральных кривых растворов гуминовых кислот с помощью вычисления отношений оптических плотностей при длинах волн 400 и 500 нм, 500 и 600 нм, 600 и 700 нм – рис. 2) также обнаруживает 3 области значений, соответствующих различному строению молекул гуминовых кислот в дневных современных горизонтах, в погребенных слоях и в прослойках породы.

Итак, характеристики органического вещества горных почв Дагестана диагностируют, как минимум, две контрастные эпохи гумусо- и почвообразования. Во-первых, фульватно-гуматный и гуматный тип гумуса дневных горизонтов почв под пастбищами, низкие величины коэффициента экстинкции (0.002-0.004), высокие значения коэффициента цветности (2-3), низкие величины

показателя гумификации отличают современный луговой этап гумусонакопления и почвообразования. Полученные результаты обнаруживают, что в низкоароматичных гидрофильных молекулах гуминовых кислот луговых почв преобладают алифатические фрагменты. Описанная эпоха гумусообразования была возможен лишь в условиях увеличения степени увлажненности климата на протяжении последних 600 лет.

Во-вторых, в профилях почв хорошо прослеживаются следы более аридного степного периода развития. По увеличению в погребенных и нижних горизонтах почв количества гуминовых кислот, в том числе связанных с кальцием, и соответственному увеличению их оптической плотности, уменьшению значений коэффициента цветности (рис. 2) можно диагностировать более сложную, насыщенную бензойными структурами гидрофобную природу молекул гумуса.

Таблица 3. Изотопный состав углерода и параметры гумусного состояния почв Восточного Кавказа.

Горизонт (глубина, см)	$\delta^{13}\text{C}$, ‰	$\delta^{15}\text{N}$, ‰	$\frac{\text{Сгк}}{\text{Сфк}}$	$E^{0.001\%}$ 1 см, 465	Доля С4-растений
					$\%C4 = \frac{(\delta^{13}\text{C}_{\text{исх.}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{C3}}) \cdot 100}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{C4}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{C3}})}$
Разрез 16. Горно-луговая субальпийская почва, 2935 м н.у.м. (пастбищеоборот)					
AB (33-53)	-24.32	1.82	3.00	0.004	19.16
B (55-75)	-23.80	1.80	1.37	0.011	22.86
[A] (75-115)	-23.80	0.45	3.40	0.005	22.84
Разрез 14. Горно-луговая субальпийская почва, 2870 м н.у.м. (пастбище)					
A (0-10)	-25.59	4.11	3.81	0.004	17.91
AB (19-42)	-24.46	3.56	0.64	0.006	18.12
[A] (42-69)	-24.30	2.98	2.67	0.016	19.32
[AB] (70-92)	-24.03	1.13	2.00	0.025	21.23
C (92-130)	-24.06	0.57	–	0.022	21.01
Разрез 22. Горная лугово-степная почва, 2600 м н.у.м. (пастбищеоборот)					
A (0-19)	-25.26	3.83	3.16	0.004	12.44
C (19-48)	-23.87	3.11	2.28	0.012	22.39
[A] (28-85)	-24.22	2.63	1.46	0.013	19.87
C (85-105)	-24.03	2.33	2.58	0.011	21.21
Разрез 117. Горно-луговая альпийская почва, 2550 м н.у.м. (пастбище)					
A (0-16)	-25.59	3.60	1.43	0.002	16.40
AB (15-35)	-23.83	5.88	1.78	0.003	22.62
[A] (72-137)	-23.36	3.75	2.07	0.012	26.02
Разрез 24. Горный чернозем, 2400 м н.у.м. (сенокос)					
A (0-16)	-24.42	2.19	1.46	0.003	22.91
AB (25-46)	-23.13	4.11	3.11	0.001	24.11
B (46-73)	-22.88	4.84	3.80	0.004	25.05
BC (73-120)	-22.80	4.90	0.90	0.022	25.00

Таким образом, период повышенной увлажненности климата пришел на смену аридным эпизодам, однако антропогенное освоение территорий сдвигает природные зоны вниз по склону, остепняя экосистемы горных лугов.

Сравнительный анализ растительности на территориях, испытывающих разнородную антропогенную нагрузку, показывает, что высокогорные сенокосы Восточного Кавказа характеризуются наиболее богатым видовым составом как злаков, так и представителей других семейств (табл. 4). Несмотря на видовое богатство разнотравья, по большому разнообразию злаковых по сравнению с другими угодьями и по их преобладанию в составе растительности, заметна тенденция к остепнению сенокосных территорий. Территория пастбищеоборота характеризуется

вторым по величине проективным покрытием растительности среди изучаемых территорий (70% по сравнению с 90% на сенокосе), видовой состав разнотравья данного угодья отличается наибольшим разнообразием после сенокоса и наименьшим количеством устойчивых к выпасу видов, если сравнивать с пастбищными угодьями. На пастбищах видовое разнообразие злаков коррелирует с проективным покрытием растительности: чем оно больше, тем более широк набор представителей семейства злаковых. Именно их растительные остатки утяжеляют изотопный состав углерода в почвах сенокосных участков, как показано в таблице 2 и в наших предыдущих исследованиях (Kovaleva, 2018).

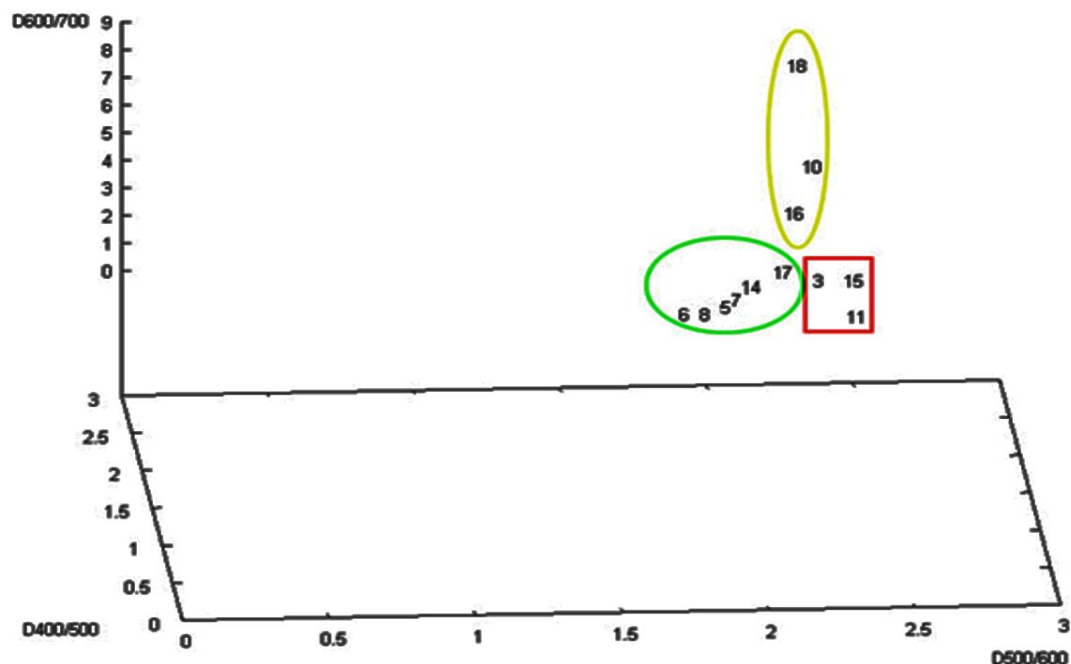


Рис. 2. Оценка крутизны спектральных кривых методом Салфелда. *Условные обозначения:* квадратный контур – горизонты А, горизонтальный эллипс – погребенные горизонты, вертикальный эллипс – горизонты ВС и С, цифры – номера разрезов. По осям координат отложены отношения оптических плотностей (D) при длинах волн 400 и 500 нм (D400/500), 500 и 600 нм (D500/600), 600 и 700 нм (D600/700).

Вместе со злаками в первую очередь выедаются бобовые. Но их видовое разнообразие на пастбищных территориях практически одинаково. На сенокосе они представлены только клевером, что закономерно в связи с абсолютным преобладанием на сенокосных угодьях злаковых над растительностью других семейств.

Наибольшим разнообразием устойчивых к выпасу родов (одуванчик, манжетка, подорожник, осока, горец, прострел и другие) характеризуются угодья с наименьшим проективным покрытием – около 40-50% (разрезы № 2, 23). Небольшим разнообразием таких родов отличаются сенокос и пастбищеоборот.

Выводы

Таким образом, из полученных данных следует, что эволюция горных почв подчинена направлению развития ландшафтов, которое, в свою очередь, определяется общепланетарными климатическими ритмами. Следствием динамичных условий почвообразования является полихронный и полигенетичный облик почвенного покрова: эпохам стабилизации поверхности соответствуют погребенные горизонты и почвы, эпохам активизации экзогенеза – слои повышенной щебнистости и горизонты породы.

Большая мощность, более темная окраска, отличия некоторых других свойств (отражательная способность, pH, характер спектров пропускания) указывают на различие свойств современных и погребенных гумусовых горизонтов.

Таблица 4. Видовой состав растительности угодий различных способов хозяйственного использования.

Сенокос (р. 4, ячменный луг, проективное покрытие – 90%)	Пастбищеоборот (р. 20, кобре- зиево-осоковый луг, пп. – 70%)	Пастбище (р. 23, типчаково- трагакантовый остепненный луг, пп. – 40%)	Естественный луг (р. 24, ячменно- клеверный луг, пп. – 90%)	Пастбище (р. 2, пестро- овсяницевый луг, пп. – 50%)
Злаковые				
Ячмень фиолетовый Полевица плосколистная Костер пестрый Мятлик альпийский Келерия кавказская Овсяница овечья Овсяница пестрая Овсец азиатский	Костер пестрый Мятлик альпийский Келерия кавказская Типчак	Овсяница сизая Пырей ползучий Келерия кавказская	Ячмень фиолетовый Келерия кавказская Мятлик альпийский Костер пестрый Типчак	Овсяница пестрая Келерия кавказская
Разнотравье				
Одуванчик Стевина Горец птичий Аконит Манжетка кавказская Лютик кавказский Мелколепестник одноцветковый Незабудка альпийская Подорожник скальный Клевер Трифолиум амбигум Крупка сибирская Примула холодная Вероника горечавковидная Сиббальдия трехзубчатая Ясколка полевая Низкозонтичник бесстебельный Мытник окрашенноклювый Подмаренник мягкий Очанка лекарственная Сушеница кавказская Вероника кавказская Щавель приальпийский Мелколепестник одноцветковый Колокольчик холмовый Мемуарцы	Кобрезия персидская Низкозонтичник бесстебельный Одуванчик рассеченнолистный Лапчатка полунадрезанная Колокольчик холмовый Клевер сомнительный Ясколка полевая Горечавка водная Подорожник скальный Песчанка горная Мемуарцы Колокольчик Стивени Лапчатка перистолистная Очанка лекарственная Козлобородник тонколистный Осока грустная Смолевка Рупрехта Крупка стручковая Проломник Козо- Полянского Примула холодная Мелкий астрагал Незабудка альпийская	Гвоздика белая Подорожник скальный Горец птичий Тимьян холмовый Трагакант колючковый Лапчатка перистолистная Полынь серебристая Клевер сомнительный Астрагал горный Вероника Петрье Смолевка Рупрехта Горошек горный Проломник Козо- Полянского Бурачок изогнутый Василек Фишера Очиток кавказский Лук каспийский Осока черная Тимьян ползучий Прострел золотистый	Тысячелистник обыкновенный Козлобородник тонколистный Тмин рассечено- листный Василек Фишера Люцерна клейкая Пастернак альпийский Вероника горечавковидная Колокольчик Стивени Макротомия Лядвенец рогатый Подорожник скальный Горец птичий Очанка лекарственная Лапчатка прямостоячая Пастушья сумка Типчак Клевер сомнительный Смолевка Рупрехта Ясколка полевая Горошек горный Горечавка водная Одуванчик Стевина Тимьян холмовый	Манжетка кавказская Манжетка обыкновенная Сиббальдия трехзубчатая Подорожник скальный Лапчатка Кранца Ясколка полевая Трифолиум амбигум Низкозонтичник бесстебельный Лютик кавказский Одуванчик Стевина Вероника горечавковидная Астрагал горный Смолевка Рупрехта Примула холодная Колокольчик холмовый Клевер ползучий Незабудка альпийская Мемуарцы Очанка лекарственная Колокольчик холмовый Осока черная Горечавка водная

В то же время очевидна и контрастность различий в погребенных почвах разного возраста. Следовательно, разновременные эпохи формирования погребенных почв отличались и климатическими условиями: аридные эпохи раннебореального и атлантического оптимумов голоцена циклически сменялись более холодными и гумидными, а средневековый оптимум отличался умеренным климатом, сходным с современным. Малый ледниковый период на территории Внутреннего Дагестана, по-видимому, не был ярко выражен. Однако установленный тренд увлажнения климата нивелируется «остепнением» ландшафтов в результате их антропогенного освоения.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 17-14-01120 2017-2021 гг. «Почвенные биомаркеры в диагностике глобальных изменений климата и предотвращении региональных экологических кризисов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будагов Б.А., Мамедов А.В., Ширинов Н.Ш.* 1986. Изменения природы горных областей в послеледниковое время (на примере Восточного Кавказа) // Известия АН СССР. Серия География. № 3. С. 84-90.
- Быковская Т.К., Ковалева Н.О.* 2010. Горные почвы Карачаево-Черкесии. М.: МГУ. 164 с.
- Залибеков З.Г.* 1982. Методы изучения почвенного покрова в связи с интенсивностью антропогенного воздействия. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Махачкала. 40 с.
- Залибеков З.Г., Гамзатова Х.М.* 2017. Типы опустынивания и критерии оценки деградационных процессов // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. № 2. С. 50-56.
- Классификация и диагностика почв СССР. 1977. М.: Колос. 221 с.
- Ковалева Н.О.* 2015. Эволюция горных почв // Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М: ГЕОС. 925 с.
- Котенко М.Е.* 2018. Эколого-почвенные особенности биогеоценозов подгорно-приморских равнин Западного Прикаспия и сельскохозяйственное использование почв. Автореф. дисс. ... док. с/х н. М. 50 с.
- Орлов Д.С., Гришина Л.А.* 1981. Практикум по химии гумуса. М.: МГУ. 272 с.
- Ромашкевич А.И.* 1996. Горное почвообразование с позиций геолого-геоморфологических и исторических его основ. // Почвоведение. № 1. С. 64-76.
- Черепанов С.К.* 1995. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Спб.: Мир и семья. 992 с.
- Kovaleva N.O.* 2018. Isotopic signature of Tian-Shan mountain soils as a record of climatic changes of the Late Pleistocene and Holocene // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Bristol, UK: IOP Publishing. Vol. 107. No. 1. 012117. P. 1-6.
- Kovalev I.V., Kovaleva N.O.* 2018. Lignin in the Organic Matter of the Soils of the Russian Plain as Biomarker of Palaeoenvironment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science United Kingdom: Institute of Physics Publishing. Vol. 107. No. 1. 012116. P. 1-7.
- Harris D., Norwáth W.R., van Kessel C.* 2001. Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or carbon-13 isotopic analysis // Soil Science Society American Journal. Vol. 65. P. 1853-1856.
- Stuiver M., Reimer P.J.* 1993. Extended 14C base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program // Radiocarbon. Vol. 35. No. 1. P. 215-230.