

**ВЛИЯНИЕ ЭКСПОЗИЦИИ СКЛОНА НА ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ПОЧВ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ТЕРРАС ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА**

©2022 г. В.Н. Пинской*, И.А. Идрисов**, Н.Н. Каширская*, М.В. Ельцов*,
А.В. Потапова*, А.В. Борисов*

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
Россия, 142290, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2а. E-mail: pinskou@inbox.ru

**Институт геологии Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН
Россия, 367025, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, д. 75

Поступила в редакцию 30.11.2021. После доработки 30.11.2021. Принята к публикации 01.12.2021

Проведено исследование зависимости химических и микробиологических свойств почв земледельческих террас от экспозиции склона. Исследовались террасы на известняках и сланцах в среднегорной зоне Восточного Кавказа. Установлено, что экспозиция склона заметно влияет на свойства почв на однотипных почвообразующих породах. Формирование террас с пахотной поверхностью, близкой к горизонтальной, изменяет угол падения солнечных лучей, что приводит к увеличению теплообеспеченности почв на склонах северной экспозиции и уменьшению – на южных склонах. В результате смены теплового режима в верхнем горизонте террасных почв различия химических и микробиологических свойств на склонах северной и южной экспозиции уменьшились по сравнению с фоновыми почвами. Нивелирующий эффект террасирования был выражен сильнее на пологих склонах 5-15° с наибольшей шириной террасного полотна по сравнению с почвами узких террас, сформированных на крутых склонах.

Ключевые слова: Восточный Кавказ, земледельческие террасы, экспозиция склона, химический состав, биологическая активность.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-113-121

Неоднородность рельефа горной зоны влияет на перераспределение солнечной радиации, что приводит к неоднородности зонального ряда почв на одной высоте. В схожей биоклиматической обстановке экспозиция склона может играть более важную роль в процессе почвообразования, чем абсолютная высота (Владыченский, 1998). Так, в частности, для горной зоны Дагестана показано, что на склоне северной экспозиции формируется гумидный, а на склонах южной экспозиции – ксероморфно-литогенный ряд почв (Ромашкевич и др., 1993). Дифференциация солнечной радиации усиливается в зависимости от крутизны склона. Так, склоны южной экспозиции крутизной 20-30° получают в 5-6 раз больше солнечной радиации, чем склоны северной экспозиции такой же крутизны (Кондратьев и др., 1978).

Следует отметить, что к настоящему времени получен достаточно обширный материал по влиянию экспозиции склона на свойства почв (Бабаева, 2002; Русланов, Милякова, 2005; Спирина, Раудина, 2015; Чуян и др., 1987; Die et al., 2021). Но эти данные относятся к естественным почвам на склонах, форма поверхности которых не изменялась целенаправленно. Что касается террасированных склонов, то здесь влияние экспозиции на свойства почв остается практически неизученным.

Следует отметить, что в последние годы во всем мире отчетливо проявляется интерес исследователей к вопросам функционирования почв земледельческих террас. Активно ведутся исследования террасных почв Южной Америки (Sandor et al., 2021), Средиземноморья (Sabir, 2021; Turner, 2021), Южной Европы (Cambì et al., 2021; Cucchiario et al., 2021), Юго-Западной (Azaiez et al., 2020) и Восточной Азии (Die et al., 2021).

Для Восточного Кавказа до недавнего времени были известны лишь работы З.Г. Залибекова (1982, 2010) и М.А. Баламирзоева с соавторами (2008). В этих работах показана специфичность террасовых почв, которые было предложено выделять на уровне самостоятельного почвенного типа (Залибеков, 1982). В последние годы появились работы по более детальному изучению почв

земледельческих террас (Борисов и др., 2021). Однако и в этих работах фактор экспозиции склона не учитывался.

В этой связи, целью работы была оценка влияния экспозиции склона на химические и биологические свойства почв земледельческих террас Восточного Кавказа.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования расположены в среднегорной зоне Дагестана. Почвообразующие породы представлены известняками раннего мела и глинистыми сланцами (аргиллитами) нижней и средней юры.

Для исследования химических и биологических свойств террасных почв на сланцах (с долей песчаников не более 5%) были выбраны участки на склонах северной и южной экспозиции в районе села Джаба (Ахтынский район Республики Дагестан (рис. 1). Для этого участка, известно время начала террасирования (1930-1940 гг.) и забрасывания террас (1980-1990 гг.).

Объектами исследования на известняках стали два участка, расположенные в Акушинском районе Республики Дагестан. Первый участок располагался на склоне северной экспозиции вблизи села Муги, второй – на склоне южной экспозиции вблизи села Камкамахи. Абсолютная высота объектов – 1250-1460 м н.у.м. Время возникновения этих селений относится к эпохе Средневековья, поэтому и возраст террас, по всей видимости, также насчитывает несколько сотен лет.

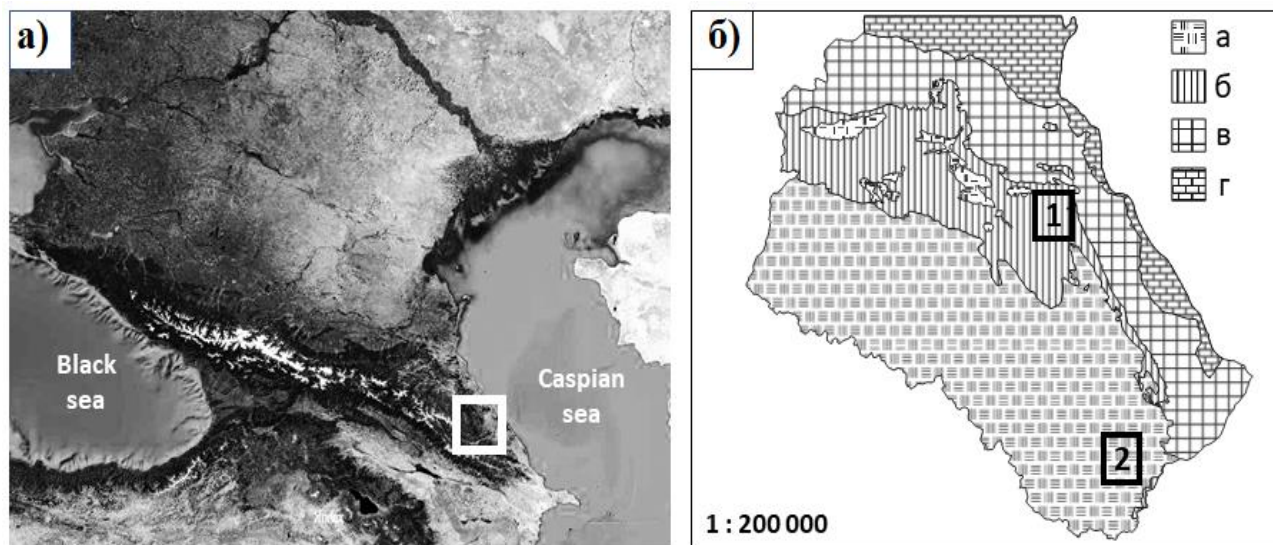


Рис. 1. Район исследования на космоснимке (а) и расположение объектов исследования на геологической карте Дагестана (б). *Условные обозначения.* Расположение ключевых участков: 1 – на известняках, 2 – на сланцах. Геологические отложения: а – юрские глинистые сланцы, песчаники, б – меловые известняки, мергели, глины, алевролиты, песчаники, в – третичные глины, песчаники, пески, галечники, ракушечники, г – четвертичные современные пески, эоловые и аллювиальные отложения.

Климат умеренно континентальный, среднегодовая температура составляет $+6-8^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков от 350-400 мм для ключевого участка в сланцевой зоне, до 500-600 мм для ключевого участка в известняковой части Дагестана. Большая часть осадков выпадает в теплый период года. Естественный почвенный покров представлен горно-луговыми эродированными почвами. В известняковой зоне большие площади занимают литоземы (Акаев и др., 1996). На протяжении последних 30-50 лет все террасы находятся в залежном состоянии, что привело к восстановлению зональной растительности.

Строение и особенности почв террас. Все исследованные террасы имели однотипное строение. В теле террасы выделяются 4 зоны: 1 – зона эрозии (область тылового шва террасы), 2 – транзитно-метаморфическая зона (центральная часть террасы), 3 – аккумулятивная зона (прибровочная часть), 4 – зона десерпции и почвенного крипа (бровка и откос террасы).

Наиболее информативной частью террасы является прирбовочная зона, где мощность почвенного профиля наибольшая. Во всех случаях с поверхности залегает горизонт AU, сформировавшийся после прекращения распашки. Его мощность может достигать 10-20 см (табл.). Этот горизонт условно можно назвать «слоем запустения» (Каширская и др., 2017). Ниже по профилю залегает слабо дифференцированная толща пахотных горизонтов. В некоторых случаях в ней можно выделить горизонты [Rj1pa], [Rj2pa], [Rj3pa] и т.д., незначительно отличающиеся по морфологическим показателям. В целом эту толщу можно назвать «слоем функционирования» террасы. В некоторых случаях под ним можно обнаружить гумусовый горизонт [AU] погребенной почвы, существовавшую до момента возникновения террасы.

Таксономическая принадлежность почв террас заслуживает отдельного рассмотрения. Вовлечение почвообразующей породы в пахотный слой вследствие ее распашки в области тылового шва террасы обеспечивает постоянное поступление в почву минерального материала, что дает основания относить почвы террас к синлитогенному стволу. При этом в пределах одной террасы можно выделить почвы, относящиеся к двум отделам: в прирбовочной части формируются стратоземы, а в области тылового шва – литоземы. Различается и тип почв: в зоне аккумуляции (прирбовочная и центральная часть) формируются агростратоземы гумусовые, в то время как в зоне эрозии (зона тылового шва) – агролитоземы. Формирование стратифицированного почвенного профиля террас является результатом аграрной деятельности, в связи с чем было предложено выделять специальный подтип – агростратифицированными (Борисов и др., 2021).

Методы исследований. На всех ключевых участках в сланцевой и известняковой зоне на склонах разной экспозиции были заложены почвенные разрезы в прирбовочной части террас в нижней и верхней частях склона. На участке со сланцами исследованы фоновые почвы в однотипных геоморфологических условиях в 100 м от террасированного участка. Фоновые почвы на участке с известняками не выявлены, т.к. террасы занимали всю площадь склона с почвенным покровом.

Было проведено морфолого-генетическое описание профилей и отбор образцов на химические и микробиологические анализы. Определение органического углерода проводили по методу влажного окисления со спектрофотометрическим окончанием по Тюрину (Воробьева, 1998). Определение содержания карбонатов, рН водной вытяжки, содержание подвижных P_2O_5 и K_2O , емкости катионного обмена было проведено по традиционным методикам (Аринушкина, 1970). Определение гранулометрического состава проводили пипеточным методом по Качинскому (Практикум по почвоведению, 1973).

Для микробиологических исследований образцы отбирались послойно через каждые 10 см. Оценку микробной биомассы, дающей респираторный отклик на внесение глюкозы (С-СИД), проводили методом субстрат-индуцированного дыхания (Anderson, Domsch, 1978). Уреазную активность определяли индофенольным методом (Kandeler, Gerber, 1988), фосфатазную – методом Галстяна-Арутюнян (Хазиев, 2005). Оценивали численность микроорганизмов различных трофических групп на твердых питательных средах (Демкина и др., 2017). Статистическая обработка данных проводилась методом построения диаграмм box plot (Krzywinski, Altman, 2014) и методом главных компонент в программе Statistica.

Результаты и обсуждение

Химические и микробиологические свойства почв на склонах разной экспозиции. Содержание органического углерода ($C_{орг.}$) во всех пахотных горизонтах различалось незначительно (рис. 2). Максимальное содержание $C_{орг.}$ как в горизонтах [Rjpa] – 2.5%, так и в горизонтах AU – 4.2%, было зафиксировано на северном склоне на известняках. Та же закономерность была выявлена для почв на глинистых сланцах.

Емкость катионного обмена (ЕКО) была выше на склонах северной экспозиции, как на аргиллитах, так и на известняках (рис. 2).

Содержание ила (рис. 2) при сравнении медиан и средних значений горизонтов [Rjpa] на известняках было несколько выше на северном склоне, а на глинистых сланцах – на южном склоне, где также была выявлена максимальная вариабельность содержания глины (рис. 2), что связано с особенностями состава пород и интенсивностью физического выветривания.

Таблица. Химические свойства и гранулометрический состав почв сельскохозяйственных террас на разных почвообразующих породах и склонах разной экспозиции.

Местонахождение разреза	Глубина горизонта, см	Название горизонта	C _{орг.}	CaCO ₃	рН водн.	P ₂ O ₅	K ₂ O	ЕКОст ммоль (экв.)/100 г	Ил	Физ. глина
			%			мг/100 г почвы				
<i>Известняки, склон северной экспозиции</i>										
Верхняя часть склона	0-40	AU	2.4	9.1	8.1	1.6	31.4	25.8	22	43
	41-80	[Rj1pa]	2.0	6.6	8.2	0.8	16.9	24.8	21	48
	81-140	[Rj2pa]	2.9	3.1	8.2	0.9	11.9	33.0	21	41
Нижняя часть склона	0-10	AU	4.2	8.1	7.9	2.0	29.0	28.3	22	42
	11-50	[Rj1pa]	1.9	8.6	8.1	1.7	22.2	21.9	23	47
	51-80	[Rj2pa]	2.0	6.3	8.2	1.8	17.1	21.4	21	40
	81-110	[AU]	2.9	3.2	8.2	2.0	15.2	28.8	20	41
<i>Известняки, склон южной экспозиции</i>										
Верхняя часть склона	0-30	AU	1.9	9.3	8.4	0.8	33.6	24.8	21	47
	31-60	[Rj1pa]	1.5	9.2	8.4	0.8	21.8	15.0	21	51
	61-90	[Rj2pa]	1.3	8.7	8.2	0.6	22.4	24.0	19	52
Нижняя часть склона	0-30	AU	2.5	12.4	8.1	1.1	32.7	22.4	11	37
	31-50	[Rj1pa]	1.9	12.4	8.1	0.7	20.4	17.6	18	44
	51-70	[Rj2pa]	2.0	11.7	8.2	0.6	19.1	15.4	18	46
<i>Глинистые сланцы, склон северной экспозиции</i>										
Верхняя часть склона	0-10	AU	2.9	1.1	6.9	0.8	38.0	28.6	15	41
	11-70	[Rj1pa]	2.2	1.1	6.7	0.4	10.4	27.1	18	47
	71-100	[Rj2pa]	2.8	0.9	6.6	0.4	7.1	29.3	19	49
	101-110	C	1.6	0.9	6.9	0.4	6.2	28.6	20	47
Нижняя часть склона	0-10	AU	2.0	0.7	7.2	0.8	47.1	21.5	16	42
	11-80	[Rj1pa]	1.4	0.7	7.3	0.4	13.2	20.9	22	52
	81-100	[AU]	1.2	0.8	7.3	0.2	7.3	24.7	27	56
Фон	0-20	AU	3.5	1.0	6.5	0.5	10.7	37.4	9	20
	21-40	B1	1.6	1.1	6.2	0.4	8.3	26.9	23	52
	41-50	B2	1.4	0.6	6.4	0.4	7.6	19.3	24	52
	51-60	C	0.8	0.8	6.4	1.0	52.2	21.5	28	54
<i>Глинистые сланцы, склон южной экспозиции.</i>										
Верхняя часть склона	0-20	AU	1.2	1.06	8.0	0.39	11.8	17.6	25	57
	21-80	[Rj1pa]	1.0	0.96	8.3	0.50	9.9	20.5	24	56
	81-140	[Rj2pa]	0.9	1.01	8.2	0.86	10.3	21.2	25	56
Нижняя часть склона	0-20	AU	1.7	0.9	7.7	0.6	45.0	17.6	11	27
	21-80	[Rj1pa]	1.1	0.9	8.4	0.4	22.8	19.8	16	39
	81-120	[Rj2pa]	1.0	1.1	8.4	0.3	16.2	20.9	22	48
Фон	0-20	AU	2.2	1.0	7.6	0.7	27.7	18.7	15	39
	21-40	B	1.5	0.9	7.9	0.4	13.1	22.0	21	48

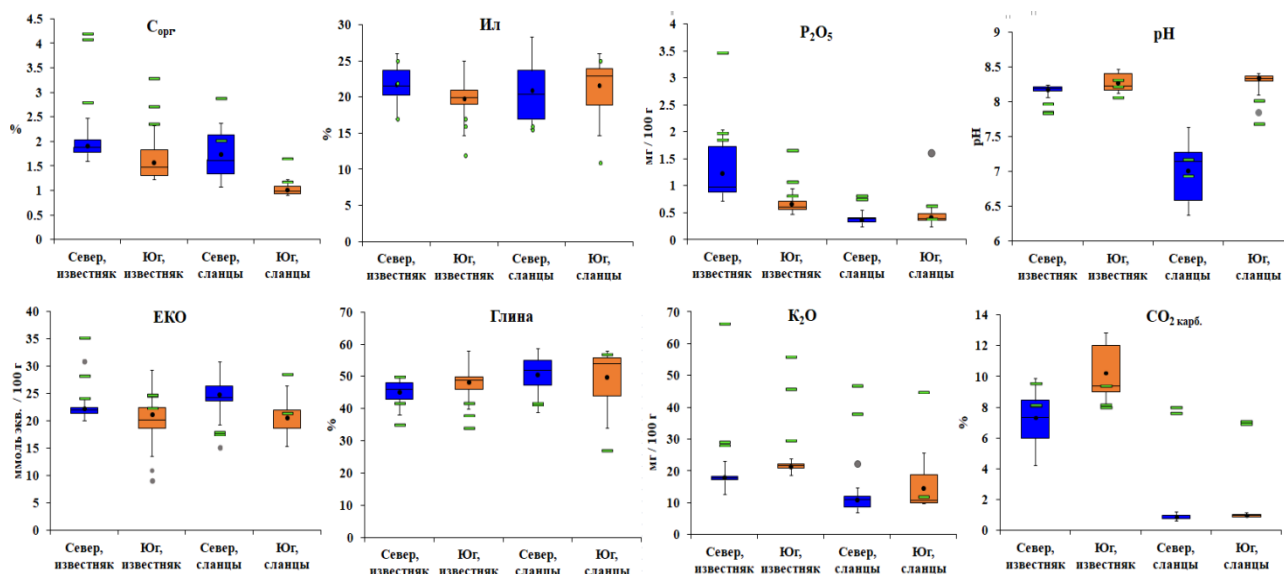


Рис. 2. Влияние экспозиции склона на содержание органического углерода ($C_{орг.}$), емкость катионного обмена (ЕКО), содержание ила (Ил), содержание физической глины (Глина), содержание подвижных фосфатов (P_2O_5) и калия (K_2O), кислотности (pH) и содержание карбонатов ($CO_{2карб.}$) в исследованных почвах. Слой заустения AU показаны отдельными линиями.

Исследованные почвы характеризуются весьма низкими значениями содержания подвижных форм фосфатов и калия (рис. 2). Как и в случае с органическим углеродом, содержание подвижных форм фосфатов в горизонтах AU резко увеличивается. Схожая закономерность наблюдается в случае с подвижным калием, что особенно заметно в почвах на известняках на склоне северной экспозиции, где в горизонте AU этот показатель достигал 68 мг/100 г. В горизонтах [Rjpa] максимальное содержание подвижных форм калия было отмечено в почвах на известняках южного склона, но и здесь значения были менее 25 мг/100 г. Необходимо отметить низкое содержание подвижного калия в горизонте AU на южном склоне на сланцах, сравнимое с минимальными значениями этого показателя в горизонте [Rjpa].

Склон южной экспозиции на известняке, подверженный более активному выветриванию, характеризуется максимальным содержанием карбонатов (> 12%), что обусловило сдвиг значений pH в щелочную область (рис. 2). На склоне северной экспозиции на известняках горизонты [Rjpa] характеризуются меньшим содержанием карбонатов и более низкими значениями pH. При этом горизонты AU на склонах разной экспозиции по содержанию CO_2 карбонатов различаются незначительно. В профиле террас на аргиллитах, содержание карбонатов было на порядок меньше, чем на известняках. В то же время, в почвах южного склона значительный сдвиг pH в щелочную область также может быть связан с более активным выветриванием и спецификой водного режима почв.

Наибольшая активная микробная биомасса (С-СИД), была зафиксирована в первых 20 см почвенного профиля на известняках на склоне северной экспозиции (рис. 3.1), где значения С-СИД составляли 800 мкгС/г, что в 2-4 раза выше по сравнению с другими объектами. Незначительные пики С-СИД в слоях функционирования террас встречаются редко, и вероятно, связаны с короткими периодами забрасывания пашни.

Влияние экспозиции склона на урезную активность (УА) было разнонаправленно – в почвах на сланцах УА была выше на склоне северной экспозиции, в то время как в почвах на известняках была выше на южном склоне (рис. 3.2). Фосфатазная активность (ФА) в почвах террас, как на сланцах, так и на известняках, на склонах северной экспозиции была выше, чем на южных склонах (рис. 3.3). Максимальная ФА была зафиксирована в верхней части склона террасы на глинистых сланцах. Активность фосфатазы, как и активная микробная биомасса, резко снижались в слое функционирования террас, но и здесь наблюдались незначительные пики. В горизонте с сохранившейся погребенной почвой наблюдается характерное повышение ФА.

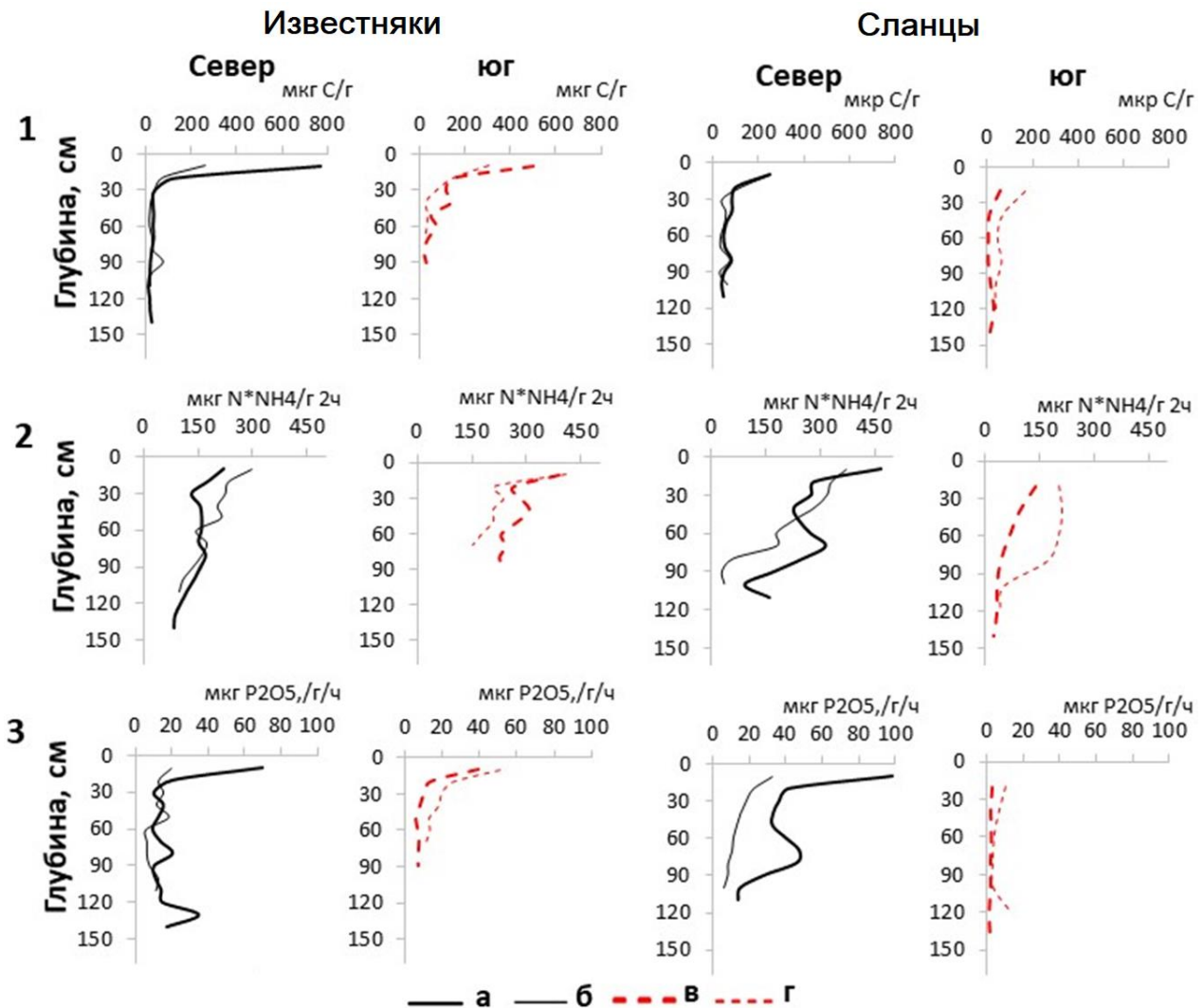


Рис. 3. Некоторые показатели биологической активности почв. Условные обозначения: 1 – микробная биомасса, 2 – активность фермента уреазы, 3 – активность фермента фосфатазы; тонкой линией показаны почвы в нижней части склона, толстой линией – в верхней части; а – верхняя часть склона северной экспозиции, б – нижняя часть склона северной экспозиции, в – верхняя часть склона южной экспозиции, г – нижняя склона южной экспозиции.

Численность микроорганизмов, растущих на богатой среде (БС) во всех случаях, была выше на склонах южной экспозиции (рис. 4). На глинистых сланцах это увеличение было выражено значительно интенсивнее, особенно в горизонтах запустения.

Численность олиготрофных микроорганизмов, растущих на почвенном агате (ПА), в террасных почвах на известняках, была выше на южных склонах, причем как в слоях функционирования террас, так и в горизонтах запустения. На глинистых сланцах, напротив, наблюдалось заметное уменьшение численности олиготрофных микроорганизмов в почвах склона южной экспозиции.

Метод главных компонент. Статистический анализ полученных данных проводили с помощью метода главных компонент по содержанию органического углерода ($C_{орг.}$), подвижных форм калия (K_2O) и фосфора (P_2O_5), активной микробной биомассе, уреазной активности, емкости катионного обмена и pH (рис. 5 А). В фоновых почвах на аргиллитах содержание $C_{орг.}$ на склоне северной экспозиции в горизонте АU было значительно выше, чем на склоне южной экспозиции (рис. 5 Б). Такая же закономерность выявлена для емкости катионного обмена – показателя, имеющего тесную связь с органическим углеродом. В слоях функционирования террас на известняках (рис. 5 В) и сланцах (рис. 5 Г) эти различия выражены заметно слабее.

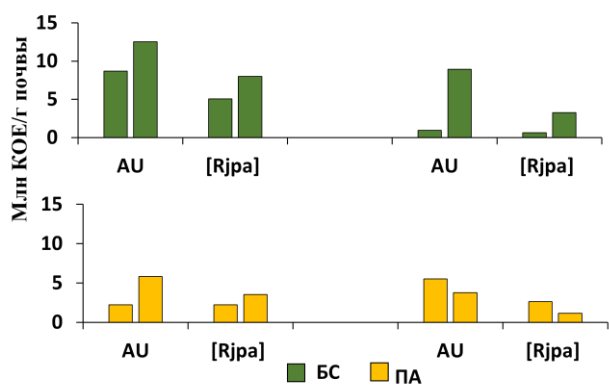


Рис. 4. Численность КОЕ микроорганизмов, растущих на богатой среде (БС) и на почвенном агаре (ПА) в слоях запустения (гор. AU) и слоях функционирования террас (в гор. [Rjpa]) (усредненные данные по двум почвенным разрезам, заложенным в нижней и верхней части склона).

Обнаружена корреляция между микробной биомассой и уреазной активностью ($r = 0.6$; рис. 5 а). Варьирование этих двух биологических показателей в пахотных горизонтах [Rjpa] во многом связано с нормами внесения удобрений в прошлом, а в поверхностном слое почв эти показатели зависят от интенсивности выпаса скота и соотношения сбраживаемой фитомассы и поступающих в почвы экскрементов скота. Характерно, что микробиологические показатели верхних горизонтов почв террас на глинистых сланцах, приуроченных к склонам различных экспозиций (рис. 5 г), различались в меньшей степени по сравнению с фоновыми почвами (рис. 5 б). Иная закономерность выявлена в террасных почвах, сформированных на известняках, где микробиологические показатели на склоне южной экспозиции были сравнимы с показателями на северном склоне (рис. 5 в).

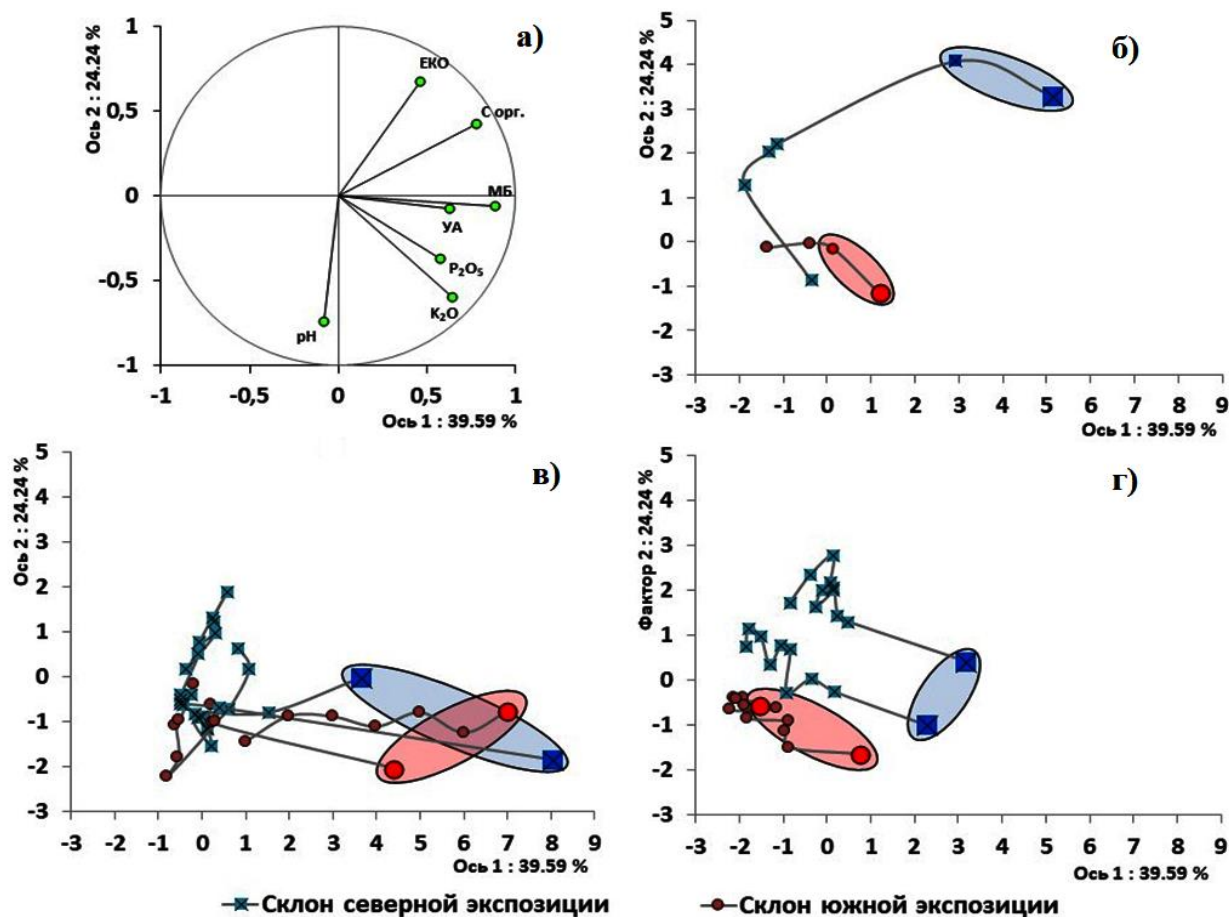


Рис. 5. Проекция химических и биологических характеристик почв (а) и диаграммы рассеивания: фоновых почв на аргиллитах (б), террасовых почв на известняках (в) и террасовых почв на аргиллитах (г).

Мы полагаем, что это произошло за счёт больших норм удобрений, вносимых в период функционирования террас (что подтверждается большим количеством керамики и бытового мусора в почвах). В данном случае, очевидно, антропогенное воздействие сnivelировало влияние экспозиции склона на почвенные свойства.

Выводы

Формирование горизонтальной террасной поверхности создает условия для более равномерного поступления солнечной радиации на склоны северной и южной экспозиции, приводя к конвергенции почвенных свойств, что наиболее заметно для содержания органического углерода, микробной биомассы и уреазной активности.

Конвергенция почвенных свойств, вызванная террасированием склонов, практически не проявляется в аридной зоне Восточного Кавказа. Здесь на крутых склонах с небольшими террасами выявлены максимальные различия свойств почв на склонах северной и южной экспозиции. Но и в этом случае различия меньше, чем в фоновых почвах на не террасированных склонах.

Нивелирующий эффект террасирования наиболее заметен на относительно пологих склонах (5-15°) с наибольшей шириной террасного полотна. На крутых склонах с узкими террасами, площадь которых незначительна в сравнении с общей площадью макросклона, влияние экспозиции склона на почвенные свойства сохраняется.

При этом такие факторы, как длительность сельскохозяйственного использования территории и высокие нормы удобрений, зачастую, оказываются определяющими, и их влияние на свойства террасовых почв превышает влияние, как экспозиции склона, так и описанного выше нивелирующего эффекта террасирования.

Финансирование. Химические и микробиологические анализы выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ “Антропогенные почвы земледельческих террас Кавказа” № 19-29-05205, 2019 год. Полевые работы в 2019 г. проводились в рамках Госзадания № 0191-2019-0046.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С., Гаджиева З.Х., Ганиев М.И., Гасангусейнов М.Г., Залибеков З.М., Исмаилов Ш.И., Каспаров С.А., Лепехина А.А., Мусаев В.О., Рабаданов Р.М., Соболев Д.В., Сурмачевский В.И., Тагиров Б.Д., Эльдаров Э.М. 1996. Физическая география Дагестана / Ред. Б.А. Акаев. Махачкала: Учебное пособие. 392 с.
- Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 490 с.
- Бабаева М.А. 2002. Закономерности распределения содержания гумуса в почвах Дагестана // Аридные экосистемы. Т. 8. № 17. С. 68-72.
- Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.Р., Аджиев А.М., Муфараджев К.Г. 2008. Почвы Дагестана // Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: Дагестанское книжное издательство. 336 с.
- Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Пинской В.Н., Плеханова Л.Н., Идрисов И.А. 2021. Почвы древних земледельческих террас Восточного Кавказа // Почвоведение. № 5. С. 1-16. [Borisov A.V., Kashirskaya N.N., El'tsov M.V., Pinskoy V.N., Plekhanova L.N., Idrisov I.A. 2021. Soils of Ancient Agricultural Terraces of the Eastern Caucasus // Eurasian Soil Science. Vol. 50. No. 5. P. 665-679.]
- Владыченский А.С. 1998. Особенности горного почвообразования / Ред. Л.О. Карпачевский, Д.И. Щеглов. М.: Наука. 191 с.
- Воробьева Л.А. 1998. Химический анализ почв / Ред. Н.Б. Хитров. М.: Изд-во МГУ. 272 с.
- Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А., Хомутова Т.Э., Кузнецова Т.В., Ельцов М.В., Удалыцов С.Н. 2017. Палеоэкологический кризис в степях Нижнего Поволжья в эпоху средней бронзы (рубеж III-II тыс. до н. э.) // Почвоведение. № 7. С. 799-813. [Demkina T.S., Borisov A.V., Demkin V.A., Khomutova T.E., Kuznetsova T.V., El'tsov M.V., Udalytsov S.N. 2017. Paleocological Crisis in the Steppes of the Lower Volga Region in the Middle of the Bronze Age (III-II centuries BC) // Eurasian Soil Science. Vol. 50. No. 7. P. 791-804.]
- Залибеков З.Г. 1982. Классификации и диагностика почв Дагестана. Махачкала: Изд-во Дагестанского центра АН СССР. 84 с.
- Залибеков З.Г. 2010. Почвы Дагестана. Махачкала: Изд-во ДГУ. 243 с.
- Каширская Н.Н., Чернышева Е.В., Ходжаева А.К., Борисов А.В. 2017. Биологическая активность горных антропогенных почв средневековых земледельческих террас горного Дагестана // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1 (70). С. 5-16. [Kashirskaya N.N., Chernisheva E.V., Khodzhaeva A.K., Borisov A.V. 2017. Biological activity of anthropogenic mountain soils of medieval agricultural terraces of mountainous Dagestan // Arid

Ecosystems. Vol. 7. No. 1. P. 1-10.]

- Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федоров М.П. 1978. Радиационный режим наклонных поверхностей / Ред. П.Я. Кондратьев. Л.: Гидрометеоиздат. 215 с.
- Практикум по почвоведению. 1973 / Ред. И.С. Кауричев. М.: Колос. 279 с.
- Ромашкевич А.И., Давыдова М.В., Лотов Р.А. 1993. Современный и древний педогенез в некоторых ландшафтах внутреннего Дагестана // Почвоведение. № 3. С.15-24.
- Русланов А.М., Милякова Е.А. 2005. Влияние экспозиции склона на свойства южных черноземов Предуралья // Почвоведение. Т. 38. № 6. С. 569-575. [Rusanov A.M., Milyakova E.A. 2005. The Effect of Slope Aspect on the Properties of Southern Chernozems in the Cis-Ural Region // Eurasian Soil Science. Vol. 38. No. 6. P. 569-575.]
- Спирина В.З., Раудина Т.В. 2015. Особенности почвообразования и пространственного распространения почв высокогорных склонов Юго-Восточного Алтая // Вестник Томского государственного университета. Серия Биология. № 2 (30). С. 6-19.
- Хазиев Ф.Х. 2005. Методы почвенной энзимологии / Ред. Н.А. Киреева, А.И. Мелентьев. М.: Наука. 252 с.
- Чуян Г.А., Ермаков В.В., Чуян С.И. 1987. Агрохимические свойства типичного чернозема в зависимости от экспозиции склона // Почвоведение. № 12. С. 39-46.
- Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. 1978. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 10 (3). P. 215-221.
- Cambi M., Giambastiani Y.; Giannetti F.; Nuti E., Dani A., Preti F. 2021. Integrated Low-Cost Approach for Measuring the State of Conservation of Agricultural Terraces in Tuscany, Italy // Water. Vol. 13 (113).
- Die C., Wei W., Liding C. 2021. Effects of terracing on soil properties in three key mountainous regions of China // Geography and Sustainability. Vol. 2 (3). P. 195-206.
- Sandor J.A., Huckleberry G., Hayashida F.M., Parcero-Oubiña C., Salazar D., Troncoso A., Ferro-Vázquez C. 2021. Soils in ancient irrigated agricultural terraces in the Atacama Desert, Chile // Geoarchaeology. Vol. 1. P. 96-119.
- Kandeler E., Gerber H. 1988. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // Biology and fertility of soils. Vol. 6 (1). P. 68-72.
- Krzywinski M., Altman N. 2014. Visualizing samples with box plots // Nature methods. Vol. 11 (2). 119-120.
- Azaiez N., Alleoua A., Baazaoui N., Qhtani N. 2020. Assessment of Soil Loss in the Mirabah Basin: An Overview of the Potential of Agricultural Terraces as Ancestral Practices (Saudi Arabia) // Open Journal of Soil Science. Vol. 10 (05). Article ID: 100065.
- Sabir M. 2021. The Terraces of the Anti-Atlas: From Abandonment to the Risk of Degradation of a Landscape Heritage // Water. Vol. 13 (510). [Электронный ресурс <https://doi.org/10.3390/w13040510> (дата обращения 10.10.2021)].
- Turner S., Kinnaird T., Varinlioglu G., Şerifoğlu T.E., Koparal E., Demirciler V., Athanasoulis D., Ødegård K., Crow J., Jackson M., Bolòs J., Sánchez-Pardo J.C., Carrer F., Sanderson D., Turner A. 2021. Agricultural terraces in the Mediterranean: medieval intensification revealed by OSL profiling and dating // Antiquity. Vol. 95 (381). P. 773-790.
- Cucchiaro S., Paliaga G., Fallu D.J., Pears B.R., Walsh K., Zhao P., Oost K.V., Snape L., Lang A., Brown A.G., Tarolli P. 2021. Volume estimation of soil stored in agricultural terrace systems: A geomorphometric approach // Catena. Vol. 207. P. 105687.