

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.46:631.48:930

ПОЧВЫ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ ТЕРРАС НА ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦАХ В СРЕДНЕГОРЬЕ ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

© 2023 г. В. Н. Пинской^а, *, И. А. Идрисов^б, Н. Н. Каширская^а,
М. В. Ельцов^а, А. В. Борисов^а

^аИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Пушкино, 142290 Россия

^бИнститут геологии Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН,
ул. М. Ярагского, 75, Махачкала, 367025 Россия

*e-mail: pinskoy@inbox.ru

Поступила в редакцию 19.10.2022 г.

После доработки 13.01.2023 г.

Принята к публикации 18.01.2023 г.

Рассмотрены химические свойства и биологическая активность почв сельскохозяйственных террас на глинистых сланцах в среднегорной зоне Восточного Кавказа. Установлено, что площадь террасированных участков в южной зоне сланцевого Дагестана составляет около 264 км² территории. Эти почвы в настоящее время находятся в залежном состоянии, но представляют собой значительный резерв высокоплодородных устойчивых к эрозии земель. Изучено влияние экспозиции склона, крутизны, размеров террасы, длительности периода распашки на химические свойства и биологическую активность почв. Показано, что для фоновых почв за пределами зоны террасирования определяющее влияние оказывает экспозиция склона. Для террасированных участков влияние экспозиции менее выражено. Формирование стенки террасы привело к изменению теплового режима, в результате различия химических и микробиологических свойств почв на склонах северной и южной экспозиции стали менее выраженными. Нивелирующий эффект террасирования наиболее заметен на относительно менее крутых склонах (12°–18°), где ширина террасного полотна наибольшая. На крутых склонах (>20°) с узкими террасами влияние экспозиции склона на почвенные свойства сохраняется. В то же время такие факторы, как длительность функционирования почв и особенности землепользования, оказывают не менее значительное влияние на свойства почв. Установлены закономерности изменения почвенных свойств в пределах тела любой отдельно взятой террасы. Наиболее плодородной зоной в пределах одной террасы является прирвовочная часть, где мощность профиля наибольшая. По мере приближения к тыловому шву террасы наблюдается закономерное уменьшение величин биологических и химических показателей.

Ключевые слова: земледелие, горная зона Дагестана, экспозиция склона, химические и биологические свойства почв

DOI: 10.31857/S0032180X22601335, **EDN:** FPVAMX

ВВЕДЕНИЕ

Террасирование почв в горной зоне является древнейшей формой антропогенного морфогенеза [2]. Есть мнение, что сельскохозяйственное освоение склоновых почв Кавказа и появление первых террас происходило в эпоху ранней бронзы и началось в Южной Грузии и Армении, что находит подтверждение в урартских клинописных источниках [18]. Известный исследователь террасного земледелия Дж. Спенсер считал, что технологии сооружений древних почвенных террас зародились на Восточном Средиземноморье и на Кавказе в раннебронзовую эпоху [41].

Вероятно, в этот период появляются первые следы аграрной деятельности и производящего

хозяйства на Восточном Кавказе [7, 5, 24]. Это прослеживается по появлению пыльцы культурных злаков и сорняков в споровопыльцевых спектрах торфяников в горной зоне Дагестана [37].

В последние годы возрастает интерес исследователей к вопросам функционирования почв сельскохозяйственных террас во всем мире. Активно ведутся исследования террасных почв Южной Америки [40], Средиземноморья [38, 39], Юго-Западной [30] и Восточной Азии [35, 43], Европы [31–33].

Что касается сельскохозяйственных террас в горной зоне Восточного Кавказа, их изученность остается недостаточной. Накоплен обширный массив этнографической информации по земледельче-

ским орудиям и агротехнике [16, 17, 19], есть представительная серия работ по фитоценозам террасированных склонов [13, 27, 42]. Что касается почвенных свойств, то в этой области до недавнего времени были известны лишь работы Залибекова [23] и Баламирзоева с соавт. [9]. В последние годы появились работы по более детальному изучению и сравнению почвенных свойств земледельческих террас [11, 12]. В своих работах авторы подчеркивают уникальность созданных антропогенным путем почв, которые следует выделять на уровне нового подтипа агростратифицированные в типе стратоземы [11].

Основной массив террасных почв расположен в центральной части известнякового Дагестана на высоте от 1000 до 1800 м со среднегодовым количеством осадков 600 мм. Почвы террас в таких условиях имеют мощный гумусовый горизонт и характеризуются высоким плодородием и эрозийной устойчивостью. Почвы именно этого района террасирования оказались в наибольшей степени исследованы [4, 6, 22]. Террасам на известняках и на известняковых песчаниках значительное внимание уделял известный дагестанский этнограф М.А. Агларов. В своих работах на данной территории он описал террасы с подпорными стенками (вблизи сел Арканы, Гоцатль, Ботлих) и без них (Левашинское, Хунзахское, Акушинское плато) [3].

При этом отдельный крупный ареал террасирования расположен в Южном Дагестане на выходах сланцевых пород. Следует отметить, что этот регион характеризуется наименьшим количеством осадков [5], поэтому почвы здесь развиваются в уникальной для Кавказа биоклиматической обстановке аридного среднегорья. В то же время именно здесь в условиях малого количества осадков и ксероморфного типа растительности широко представлены земледельческие террасы, которые возникают вокруг многочисленных поселений, основанных в XVI–XVII вв. В отличие от почв известнякового Дагестана, где выходы плотных пород ограничивают механизированную обработку, террасы на сланцах пригодны для обработки современной техникой, что обуславливает их возможность использования в будущем.

Цель работы – изучение почв террасовых полей южной зоны сланцевого Дагестана. Основная задача заключалась в оценке площади террасирования и изучении почвенных свойств на склонах разной экспозиции, крутизны, времени использования. Отдельной задачей было установление закономерностей изменения почвенных свойств в пределах террасы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследований занимает самую южную часть зоны террасирования в Дагестане. В соот-

ветствии с имеющимися данными, на территории республики насчитывается около 2000 км² почв террасовых полей [10], из которых 7% (140 км²) находятся в южной части сланцевого Дагестана (рис. 1а).

При помощи анализа космических снимков открытого доступа (Яндекс, Google, Bing) проводили более детальную оценку реальных площадей террасных полей. Выполняли картографирование террас в окрестностях каждого селения на площади 3200 км². Установили, что реальная площадь террасовых полей южной части сланцевого Дагестана составляет 264 км². При этом около 20 км² террасированных участков расположено на аллювиальных отложениях. Таким образом, южная часть сланцевого Дагестана представляет собой важный резерв плодородных устойчивых к эрозии залежных почв пригодных для сельскохозяйственного использования в будущем.

Район исследования находится в умеренно континентальном климате. В сумме годовое количество осадков не превышает 400 мм, большая часть которых выпадает летом (апрель–октябрь 300 мм). Температура самого теплого месяца (август) достигает 16–21°C, самого холодного (январь) –5...–7°C, при среднегодовой температуре 6–8°C [5] (рис. 2). Террасированные участки располагаются на высотах от 1200 до 2100 м (рис. 1б).

Почвообразующие породы представлены глинистыми сланцами (аргиллитами) нижней и средней юры, которые вскрываются на площади более 16 тыс. км² в высокогорной и среднегорной зоне Дагестана (рис. 1с) в крупных котловинах (Гимринская, Ирганайская, Хиндахская и т.д.), и занимают большую часть бассейна р. Самур. Для работ выбрали участки с доминированием глинистых сланцев, где доля песчаников не превышала 5%.

Характерно, что большая часть террас южной зоны сланцевого Дагестана приходится на ареал распространения ксерофильных трагакантных сообществ (рис. 1д).

Ключевой участок исследования находится в 2 км к юго-востоку от с. Джаба (Ахтынский район Республики Дагестан). Абсолютные высоты 1680–1750 м. Для почв террас данного ключевого участка точно известно время начала террасирования (1940-е годы) и забрасывания (1990-е годы). На протяжении последних 30–40 лет террасы находятся в залежном состоянии, что привело к восстановлению зональной растительности.

Состав фитоценозов на северных и южных склонах характерно различался. По северным склонам в пределах высот 1700–2400 м развиваются высокотравные субальпийские мезофильные луга. В травостое чаще преобладает разнотравье, доминируют следующие виды: *Astrantia*

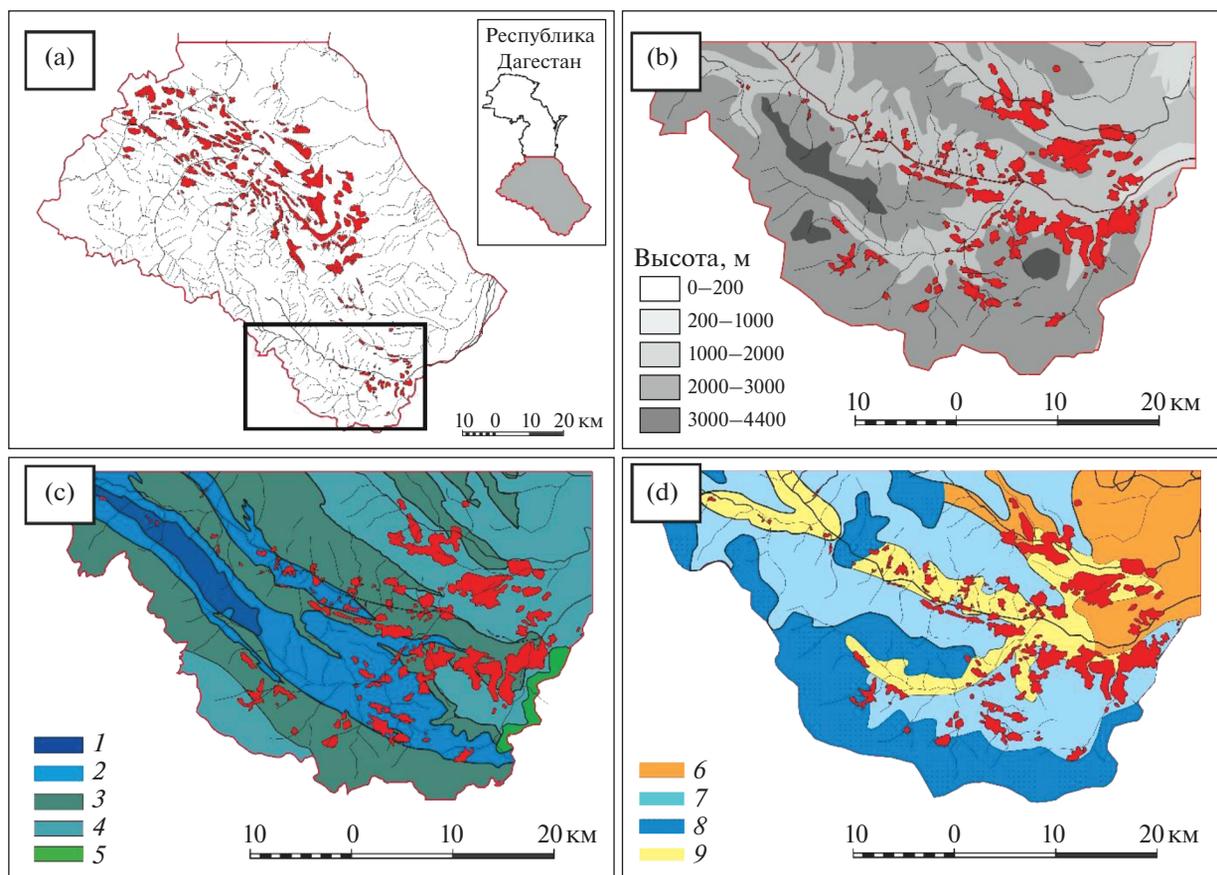


Рис. 1. Карта распространения сельскохозяйственных террас в Республике Дагестан [10] (а). Детальное расположение сельскохозяйственных террас в южной части сланцевого Дагестана на карте высотной поясности (б), на геологической карте (с) и на карте растительности [10] (д). 1 – глинистые сланцы домерского яруса, 2 – тоарского яруса, 3 – ааленского яруса, 4 – верхнего нерасчлененного отдела юрской системы, 5 – меловая система нижний отдел: 5 – среднегорные полидоминантные фриганоиды и среднегорные ковыльно-пырейные, 7 – субальпийские луга, 8 – альпийские луга, 9 – ксерофильные трагакантные сообщества.

major subsp. *biebersteinii* и *A. maxima*, *Betonica macrantha*, *Geranium platypetalum*, *Anemone fasciculata*, *Polygonum carneum*, *Inula orientalis*, *Psephellus dealbatus*, *Delphinium arcuatum* и др. Среди злаков отмечаются *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*, *Briza elatior*.

По южным склонам травостой, более разреженный с преобладанием злаков *Festuca*, *Trisetum teberdense*, *T. rigidum*, *Avenella flexuosa*, *Agrostis balansae*, *Koeleria caucasica* и др. Из разнотравья здесь отмечаются более засухоустойчивые виды: *Astragalus* (*A. onobrychioides*, *A. eugenii*, *A. cicer*), *Dianthus cretaceus*, *Thymus transcausicus*, *Achillea setacea*, *Salvia verticillata*, *Teucrium chamaedrys* и др. [1].

Разрезы закладывали на покатых (12° – 15°) и крутых ($>25^{\circ}$) участках склона северной и южной экспозиции. Ширина террасного полотна зависела от крутизны склона: на крутых склонах ширина не превышает 10 м, на покатых склонах возрастает до нескольких десятков метров. Уклон в пределах одной террасы на ключевых участках составлял 2° – 5° .

Также исследовали фоновые почвы на не террасированном склоне северной (разрез фон север¹) и южной экспозиций (разрез фон юг (рис. 3)).

На склоне северной экспозиции изучали почвы узких террас на крутом склоне (разрез 3) и широких террас на покатом склоне (разрез 4). На склоне южной экспозиции исследовали почвы террас в тех же геоморфологических условиях – узкие террасы на крутом склоне (разрез 1) и широкие террасы на покатом склоне (разрез 2).

Для изучения свойств почв в пределах одной террасы закладывали разрезы 3, 3-1 и 3-2 в прибровочной части террасы, средней части, и в области тылового шва (соответственно) на северном склоне.

Также исследовали свойства почв террас в непосредственной близости от села (разрез 5). Известно, что с. Джаба с начала XVI в. являлась столицей Докузпаринского вольного общества [20].

¹ Координаты разрезов указаны в дополнительных материалах.

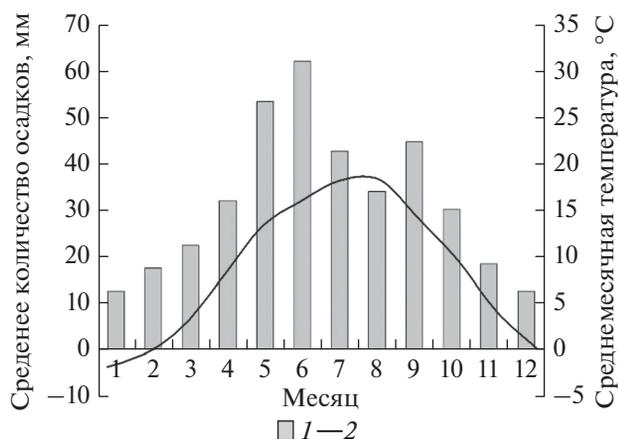


Рис. 2. Среднемесячное количество осадков (1) и среднемесячная температура (2) южной части сланцевого Дагестана.

По данным переписи на 1839 г. численность населения составляла 1387 человек [15]. Учитывая, что почвы вблизи поселений осваивались в первую очередь, возраст этих террас около 500 лет.

Перед началом работ проводили облет тестовых участков с помощью квадрокоптера Mavic-4 и по полученным фото выбрали наиболее репрезентативные участки для заложения разрезов. Строили 3D-модели участков исследования. В наиболее репрезентативных участках закладывали опорные почвенные разрезы. В разрезах проводили морфолого-генетическое описание профилей и отбор образцов на химические и микробиологические анализы.

Определение органического углерода проводили по Тюрину методом влажного окисления со спектрофотометрическим окончанием [14]. Содержание карбонатов, pH водной вытяжки, содержание подвижных P_2O_5 и K_2O , емкости катионного обмена определяли по традиционным методикам [8], гранулометрический состав – пипеточным методом по Качинскому [26].

Оценку микробной биомассы, дающей респираторный отклик на внесение глюкозы (С-СИД), проводили методом субстрат-индуцированного дыхания [29]. Уреазную активность определяли индофенольным методом [36]. Фосфатазную активность оценивали методом Галстяна–Арутюнян [28].

Для оценки индекса олиготрофности микробного сообщества [21, 34] проводили посевы на твердые питательные среды. Олиготрофных микроорганизмов, использующих элементы питания из рассеянного состояния, учитывали на почвенном агаре следующего состава (г/л): почва – 200, агар – 20.

Для учета микроорганизмов, разлагающих растительные остатки, использовали богатую органическую среду состава (г/л): сухой питательный агар – 3, пептон – 3, триптон – 1, дрожжевой экстракт – 1, глюкоза – 1, агар – 20. Индекс олиготрофности рассчитывали по формуле $ПА/БС \times 100$, где ПА – численность КОЕ микроорганизмов, растущих на почвенном агаре, БС – численность КОЕ микроорганизмов, растущих на богатой среде.

Статистическую обработку данных проводили методом построения точечных диаграмм и методом главных компонент в программе Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Строение тела террасы и особенности свойств почв. Во всех изученных террасах можно выделить 4 части: 1 – область тылового шва террасы, 2 – центральная часть, 3 – прибровочная часть, 4 – бровка и откос террасы.

В области тылового шва террасы (эрозионная зона) происходила ежегодная припашка материала почвообразующей породы, вовлечение ее в пахотный горизонт и перемещение почвенно-грунтового материала вниз по склону.

В центральной части террасы (транзитно-метаморфическая зона) происходило активное измельчение первичного элювия почвообразующей породы в результате механического разрушения

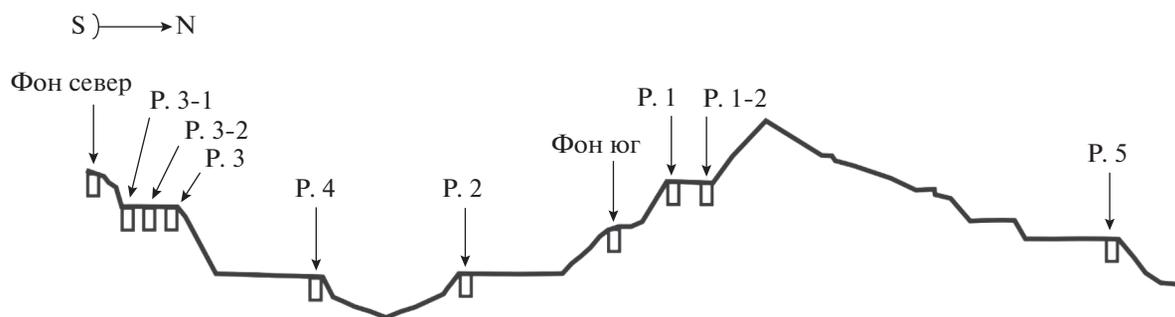


Рис. 3. Схема расположения почвенных разрезов.

пахотными орудиями и вследствие комплекса процессов выветривания. Здесь аккумулируется мелкозем, поступающий эоловым наносом и поверхностным стоком.

Основное скопление почвенно-грунтового материала находится в прибровочной части (аккумулятивная зона). В этой части террасы напашный материал хорошо гомогенизирован, однороден и обладает благоприятными водно-воздушными свойствами. Нередко сохраняется погребенная почва (не тронутая распашкой). Как правило, встречается археологический материал.

Бровка террасы (зона десерпции и почвенного крипа) представляет собой зону неустойчивого состояния почвы, где наблюдаются процессы солифлюкционной природы, которые нарушают естественное залегание материала тела террасы.

Таксономическая принадлежность почв террас. Ежегодное поступление материала почвообразующей породы в пахотный слой вследствие припашки позволяет отнести эти почвы к синлитогенному стволу [11]. При этом в пределах одной террасы можно выделить почвы двух отделов: в прибровочной части формируются стратоземы (тип темногумусовые), а в области тылового шва — агролитоземы (тип темногумусовые). Такие почвы, формирование стратифицированного профиля которых произошло в результате аграрной деятельности, было предложено выделять на новом подтиповом уровне — агростратифицированные [11]. Отметим, что таксономическая структура характерна для террас, почвы которых находятся в залежном состоянии: в настоящее время это относится к абсолютному большинству террасовых полей. В террасах, которые распахиваются в настоящее время, почвы в области тылового шва можно относить к стволу первичного почвообразования и диагностировать как агропетроземы, агрокарбоземы или переходные варианты.

Строение почвенных профилей террас. Исследуемые почвы имеют одинаковое строение профилей. Наиболее информативной частью террасы является прибровочная зона, где мощность почвенного профиля наибольшая. Здесь можно выделить горизонт AJrh, сформированный после прекращения распашки. Этот горизонт можно назвать *слоем запустения*. Вниз по профилю залегает серия пахотных горизонтов [RJ1pa], [RJ2pa], [RJ3pa] и т.д. Эти горизонты можно рассматривать как *слой функционирования* террасы. Под ними в отдельных случаях можно встретить верхний горизонт погребенной темногумусовой почвы [AU], существовавшей до момента возникновения террасы.

Морфологические свойства почв. Фоновые почвы. В качестве фоновых почв исследовали почвы нетеррасированных склонов северной и южной экспозиций. Во всех случаях профиль был пред-

ставлен темногумусовым горизонтом AU и переходным к породе горизонтом AC мощностью менее 10 см. На склонах северной экспозиции горизонт AU представлен средним суглинком темно-серого цвета мощностью 40–50 см. В нем может выделяться несколько подгоризонтов, отличающихся по цвету, структуре и сложению.

На склонах южной экспозиции горизонт AU более легкого гранулометрического состава светлого пепельно-серого цвета. Скелетность заметно выше. Встречаются крупные фрагменты сланца. Как правило, мощность почвенного профиля на склоне южной экспозиции менее 30 см.

Почвы террас. Морфологические свойства террасовых почв на склонах разной экспозиции заметно различались. На северных склонах в области тылового шва почвенный слой достигает 20 см, по мере приближения к прибровочной зоне его мощность увеличивается до 100 см и более. Выделяются следующие горизонты: AJrh мощностью до 10 см темно-серого цвета, комковатой структуры, постепенно переходящий в слабодифференцированную серию пахотных горизонтов [RJ1pa] и [RJ2pa]. На глубине 70–80 см в пахотном слое заметно возрастание темных тонов в окраске. Этот слой соответствует первому этапу распашки. С глубины 90–100 см залегает горизонт [AU] погребенной почвы, однородный, без крупных фрагментов сланца, темно-серый средний суглинок комковатой структуры.

Почвы склона южной экспозиции отличаются большей долей светлых тонов в окраске и слабой оструктуренностью. Горизонт AJrh (0–20 см) пепельно-серого цвета, легкосуглинистого гранулометрического состава, комковато-порошистой структуры. Слой функционирования имеет мощность до 150 см, в нем выделяется серия пахотных слоев [RJ1pa] и [RJ2pa]. Скелетность всех почв южных склонов превышает 50%. Почвообразующей породой во всех случаях являются глинистые сланцы с примесью известняка.

Химические и биологические свойства почв. Фоновые почвы. Свойства почв на склонах северной и южной экспозиции существенно различаются (рис. 4b). Это хорошо заметно по содержанию органического углерода (C_{org}), которое в верхнем горизонте северного склона достигает 5.1%, а на склоне южной экспозиции — 2.2% (табл. S1). Характерное различие в почвах северного и южного склонов наблюдается и по ряду других показателей. Так, на северном склоне значения микробной биомассы (МБ), емкости катионного обмена (ЕКО) и активность фермента уреазы (УА) больше в 2 раза, а значения фосфатазной активности (ФА) в 13 раз (табл. S1 и S3).

Значительный приход солнечной радиации на склон южной экспозиции вызывает более интенсивное выветривание и быстрое иссушение, что в

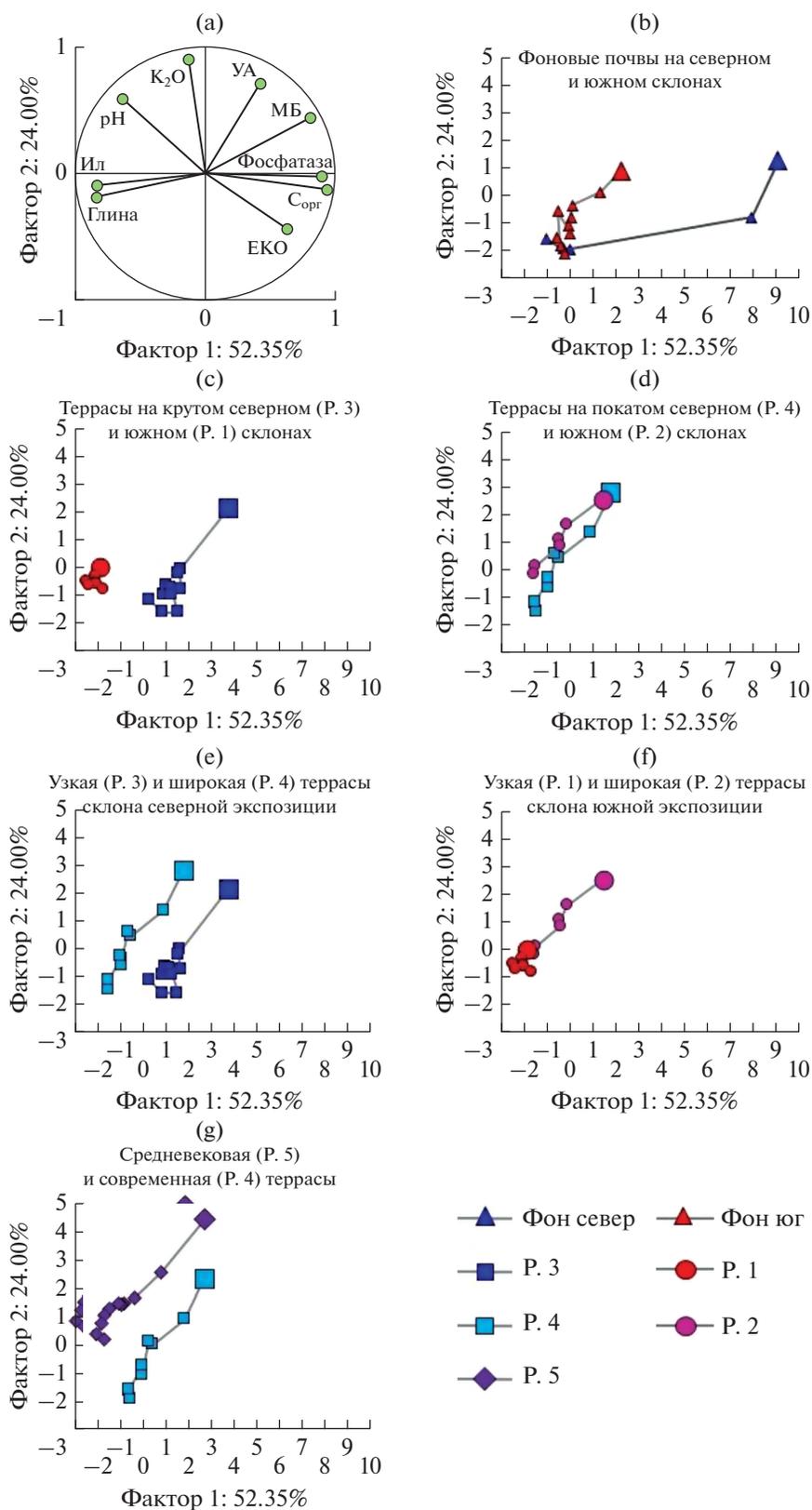


Рис. 4. Проекция химических и биологических характеристик почв (а) и диаграммы рассеивания для фоновых (б) и террасовых почв (с, d, e, f, g).

свою очередь приводит к повышенной щелочности (фон юг – рН 7.7, фон север – рН 6.6) и высокому содержанию подвижных форм P_2O_5 больше на 0.35 мг/100 г, и K_2O в 3 раза больше. Здесь доля илистых и глинистых частиц превышала в 1.5 раза значения северного склона (табл. S2).

Почвы террас. При создании террас всегда учитывался уклон местности. Расстояние между террасами вдоль склона выбиралось так, чтобы уклон поверхности террасы через несколько лет ее функционирования исключал возможность эрозионного размыва мелкозема. В результате на крутых склонах создавали узкие террасы, а на покатых более широкие. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть отдельно эти два типа террас.

Террасы на крутых склонах северной и южной экспозиции. Террасирование склонов привело к изменению угла падения солнечных лучей, в результате изменился радиационный баланс почв [25] и связанный с этим комплекс почвенных свойств и процессов. При этом факт создания горизонтальной поверхности на склонах разных экспозиций привел к конвергенции ряда почвенных свойств, в то же время в ряде случаев увеличил дивергенцию по некоторым показателям, которая была до начала распашки и террасирования.

Сближение свойств террасовых почв относительно фоновых в значительной мере прослеживается по содержанию органического углерода, карбонатов и емкости катионного обмена. Также относительно фоновых почв террасирование склонов привело к повышению щелочности, причем как на северном, так и на южном склонах (на 0.3 рН).

В то же время различия некоторых показателей, таких как МБ, УА, ФА, в верхнем слое в результате террасирования увеличиваются (рис. 4с, табл. S4, S6). Особо следует отметить противоположенную направленности изменений ряда почвенных свойств после террасирования. Так, интересная закономерность выявлена для подвижных форм фосфора и калия: вероятно, распашка как еще один фактор физического выветривания обусловила насыщение верхнего горизонта почв склона северной экспозиции подвижными формами P_2O_5 и K_2O . В результате значения этих показателей на склоне северной экспозиции стали больше, чем в фоновых почвах, тогда как в террасах на склоне южной экспозиции содержание P_2O_5 и K_2O стало меньше, чем было до террасирования.

В верхних слоях сельскохозяйственных террас на склонах разной экспозиции наблюдается значительная дивергенция по содержанию ила, в меньшей степени – по содержанию физической глины (относительно фоновых почв на разных экспозициях) (табл. S5).

Индекс олиготрофности, определяемый как отношение численности микроорганизмов, растущих на почвенном агаре к микроорганизмам, растущим на богатой среде, был выше в узких террасах на склоне южной экспозиции. Вероятно, это обусловлено более засушливыми условиями (чем суше, тем больше индекс олиготрофности [21, 32]), в таких условиях преобразование органического вещества происходит быстрее. Но в целом значения ПА и БС были выше на склоне северной экспозиции.

Различия свойств почв в слое функционирования террас менее выражены. В этот период происходило вовлечение в пахотный слой больших объемов минеральной массы, что повлияло на уменьшение большинства химических и микробиологических показателей в почвах, как северного, так и южного склонов.

Террасы на покатых склонах северной и южной экспозиции. В отличие от террас на крутых склонах, на участках со слабым уклоном наблюдается сближение почвенных свойств верхних горизонтов на склонах разных экспозиций (рис. 4d): происходит *конвергенция* свойств верхнего горизонта почв на склонах северной и южной экспозиции. Различия по большинству химических показателей ($C_{орг}$, рН, P_2O_5 , K_2O , ЕКО) и биологических свойств (МБ, УА, индекс олиготрофности) почв террас южного и северного склонов стали менее значительны. Единственным почвенным показателем, который унаследовал влияние экспозиции склона, оказалась фосфатазная активность, которая осталась больше в 3 раза на покатом склоне северной экспозиции.

В пахотных горизонтах большинство значений химических и биологических показателей уменьшается с глубиной. В отдельных горизонтах слоя функционирования террас нередко прослеживаются незначительные пики некоторых почвенных свойств (МБ, УА, рН, K_2O), вероятно, это связано с особенностями землепользования. При этом значения ЕКО, содержание ила, физической глины, индекса олиготрофности в слое функционирования часто больше, чем в слое запустения.

Варьирование почвенных свойств террас в пределах одной экспозиции склона. Почвы террас на крутых склонах северной экспозиции характеризуются высокими значениями ряда химических свойств (содержание $C_{орг}$, P_2O_5 , ЕКО) и биологической активности (значения МБ, УА, ФА). При этом в террасах на покатых склонах отмечены большие значения рН, содержания K_2O и индекса олиготрофности. В меньшей степени заметно превышение содержания ила и физической глины (рис. 4е).

Иная закономерность выявлена для почв террас южного склона (рис. 4f). Здесь узкие террасы

на крутом склоне характеризуются наименьшими значениями всех биологических показателей. Быстрое выветривание, обусловленное большим приходом солнечной радиации, отразилось на высоком содержании карбонатов, повышенной щелочности и высокой доле илестых и глинистых частиц. При сравнении содержания ила и глины в почвах установлено, что во всех случаях значения этих показателей были выше в почвах террас на крутых склонах, при этом профильная динамика была однотипной.

Террасы на разном удалении от села. Некоторые свойства почв сельскохозяйственных террас напрямую зависят от времени их использования и количества вносимых удобрений. В этом отношении весьма информативным оказалось изучение почв террасы на окраине села, которые, как предполагается, распаивались около 500 лет (рис. 4г). В слое заустения средневековой террасы отмечены повышенные значения некоторых показателей биологической активности, таких как МБ и УА. При этом значения последней были в 2.5 раза больше, чем в почвах террас, которые распаивались в XX в. Здесь наблюдаются высокие значения ЕКО (больше на 4.3 ммоль экв/100 г), подвижных форм фосфора (больше на 0.17 мг $P_2O_5/100$ г) и калия (больше на 16.7 мг $K_2O/100$ г), а также карбонатов (в 1.6 раза больше). Последнее обусловило увеличение щелочности (значения рН больше на одну единицу) (табл. S7). Отмечено некоторое превышение содержания илестой и глинистой фракций (табл. S8). Лишь значения фосфатазной активности в средневековой террасе были ниже, чем в современных террасах (в слое заустения меньше в 3 раза, а в слое функционирования в 4–6 раза) (табл. S9).

И в почвах средневековой террасы, и почвах современных террас в слое функционирования наблюдается закономерное уменьшение биологической активности и ряда химических показателей, за исключением содержания карбонатов, рН и ЕКО. В современных террасах в слое функционирования содержание $C_{орг}$ выше, что, вероятно, обусловлено меньшей выпашанностью почв. В то же время значения МБ и УА в средневековой террасе превышали аналогичные показатели почв современных террас, что свидетельствует о внесении органических удобрений. В слое функционирования средневековой террасы отмечены повышенные значения содержания K_2O , P_2O_5 , карбонатов и рН.

Пространственная неоднородность почв в пределах одной террасы. Результаты сравнительного анализа свойств почв тылового шва, центральной и прирвовочной частей террасы позволили выявить закономерности изменения основных химических свойств и биологической активности в пределах тела террасы (рис. 5).

В слое заустения наблюдается увеличение содержания органического углерода, P_2O_5 , K_2O , карбонатов и рН, активности ферментов фосфатазы и уреазы по мере приближения к прирвовочной части террасы (табл. S10 и S12).

Содержание $C_{орг}$ в почвах тылового шва террасы варьировало в пределах 1%. Здесь максимальное содержание зафиксировано в слое заустения (2.1%). В средней и прирвовочной части террасы максимальное содержание органического углерода было в погребенной почве и превышало 3%. Слой функционирования в этих зонах характеризуются наименьшими значениями $C_{орг}$. Аналогичная профильная динамика прослеживается по ЕКО, значениям микробной биомассы, активности фермента уреазы и, в меньшей мере, подвижных фосфатов. Повышенные значения перечисленных показателей на глубине 40–60 см в средней части и на глубине 100–120 см в прирвовочной части террасы соответствуют погребенной почве, а также первому этапу функционирования террасы.

Содержание илестых частиц и физической глины во случаях было больше в слоях функционирования террасы (табл. S11).

Содержание подвижного калия в слое заустения в прирвовочной зоне в 2 раза превышало аналогичный показатель в центральной части террасы и в 5 раз – в области тылового шва. Вниз по профилю этот показатель закономерно снижается, не имея характерных пиков, за исключением слоя в центральной части террасы на глубине 70 см.

Обратная закономерность выявлена для индекса олиготрофности: в слое заустения значения этого показателя были максимальны в области тылового шва террасы и снижались в 2 раза в центральной зоне и в 3 раза в прирвовочной зоне. В слое функционирования в большинстве случаев индекс олиготрофности был больше, чем в слое заустения. Максимальное значение данного показателя зафиксировано в центральной части террасы на глубине 10–20 см.

Интересная закономерность выявлена в верхнем горизонте почв тылового шва террасы. Здесь отмечено повышенные значения ЕКО индекса олиготрофности и микробной биомассы, что, вероятно, обусловлено поступлением материала гумусового горизонта почвы склона вышерасположенной террасы в результате плоскостного смыва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Свойства почв террас на глинистых сланцах определяются тремя факторами: экспозиция склона, крутизна склона и особенности землепользования.

Влияние экспозиции склона в значительной мере нивелируется при террасировании, в результате происходит конвергенция почвенных свойств,

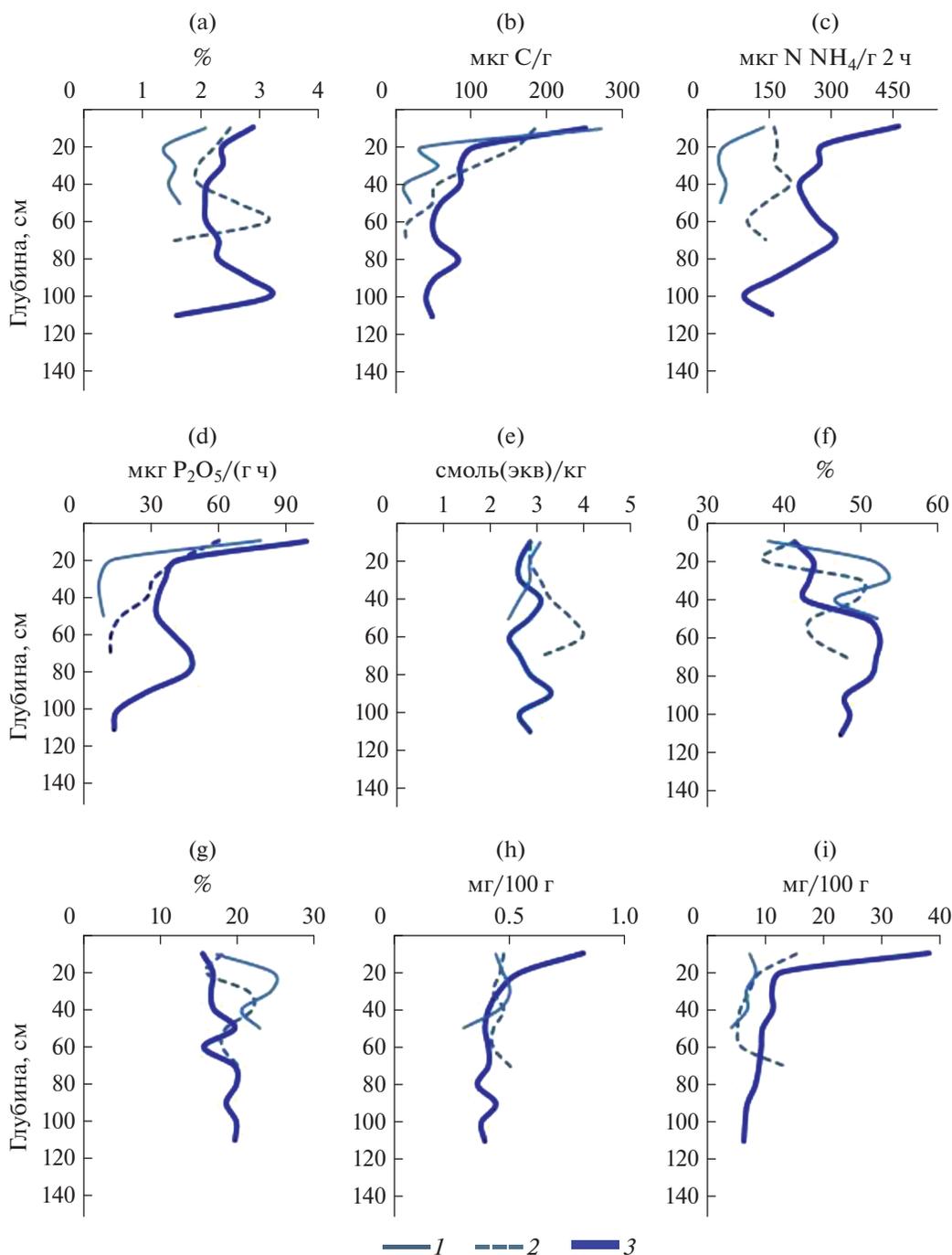


Рис. 5. Пространственная неоднородность свойств почв в пределах одной террасы: а – органический углерод, б – микробная биомасса (С–СИД), с – активность фермента уреазы, д – активность фермента фосфатазы, е – емкость катионного обмена, ф – содержание физической глины, г – содержание ила, h – подвижные фосфаты, i – подвижный калий, зоны: 1 – тыловой шов, 2 – центральная, 3 – прировочная.

однако этот эффект проявляется по-разному на склонах разной крутизны.

В большей степени конвергенция почвенных свойств проявилась в широких террасах на покатых склонах (до 15°): здесь большинство химиче-

ских и микробиологических показателей почв на северном и южном склонах различаются незначительно, за исключением фосфатазой активности. Таким образом, можно отметить следующую закономерность: чем шире полотно террасы, тем меньше влияние экспозиции.

В узких террасах, сформированных на крутых ($>20^\circ$) противоположных склонах, эффект экспозиции не только сохраняется, как и в почвах фона, но и в ряде случаев, усиливается при террасировании. Это видно по таким параметрам, как МБ, УА, ФА, содержание ила и физической глины.

Незначительная конвергенция почвенных свойств узких террас на разных склонах прослеживается лишь по содержанию $C_{орг}$, карбонатам и ЕКО.

Помимо экспозиции и крутизны склона, еще одним важным фактором, определяющим почвенные свойства террас, является продолжительность периода их функционирования и характер землепользования. В частности, земледельческие террасы, период использования которых около 500 лет, характеризуются высокими значениями химических свойств (ЕКО, подвижные P_2O_5 и K_2O) и биологической активности (МБ, УА), что свидетельствует о высоких нормах удобрений. В то же время эффект выпаханности здесь проявляется в виде низких значений $C_{орг}$ и фосфатазной активности.

Выявлены закономерности варьирования почвенных свойств в пределах тела одной террасы. Часть террасы, прилегающая к области тылового шва, характеризуется самыми низкими значениями $C_{орг}$, подвижных P_2O_5 и K_2O , активности уреазы и фосфатазы. В центральной части отмечено возрастание перечисленных химических и биологических показателей, а наибольшие из значений зафиксированы в слое запустения в прирвовочной зоне. Исключением стали ЕКО и МБ, которые были больше в области тылового шва террасы. Вероятно, максимальные значения этих показателей связаны с поступлением материала гумусового горизонта почвы склона вышерасположенной террасы в результате плоскостного смыва.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Химические и микробиологические анализы выполняли при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-05205мк. Полевые работы в 2018 г. проводили в рамках госзадания № 0191-2019-0046.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Химические свойства почв и гранулометрический состав представлены в дополнительном файле *ESM_Pinskoy*, доступном по <https://doi.org/10.31857/S0032180X22601335>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулаев К.А., Атаев З.В., Братков В.В. Современные ландшафты Горного Дагестана / Отв. ред. Абдурахманов Г.М. Махачкала: ДГПУ, 2011. 115 с.
2. Агларов М.А. Структурные метаморфозы в обществе как следствие адаптации к антропогенным ландшафтам: Восточный Кавказ // Вестник Дагестанского научного центра. 2010. № 46. С. 56–60.
3. Агларов М.А. Террасное земледелие в Нагорном Дагестане // Природа. 2008. № 12. С. 30–35.
4. Агларов М.А. Техника сооружения террасных полей и вопросы эволюции форм собственности у аварцев (до XX в.) // Учен. зап. ИИЯЛ Даг. филиала АН СССР. Т. 13. Махачкала, 1964. С. 193–205.
5. Акаев Б.А., Атаев З.В., Гаджиев Б.С., Гаджиева З.Х., Ганиев М.И., Гасангусейнов М.Г., Залибеков З.М., Исмаилов Ш.И. и др. Физическая география Дагестана / Ответственный редактор Акаев Б.А. Махачкала: Учебное пособие, 1996. 392 с.
6. Аличаев М.М., Казиев М.А., Султанова М.Г. Террасное земледелие Дагестана – история, и перспективы // Махачкала, 2018. С. 20–26.
7. Амирханов Х.А. Начало земледелия в Дагестане // Природа. 1983. № 2. С. 52–57.
8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 490 с.
9. Баламирзоев М.А., Мирзоев Э.Р., Аджиев А.М., Муфараджев К.Г. Почвы Дагестана. Экологические аспекты их рационального использования. Махачкала: Дагестанское книжное изд-во, 2008. 336 с.
10. Борисов А.В., Идрисов И.А., Коробов Д.С., Ельцов М.В., Савицкий Н.М., Плеханова Л.Н. Земледельческие террасы с межевыми откосами в горном Дагестане // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2016. Т. 10. № 4. С. 70–83.
11. Борисов А.В., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Пинской В.Н., Плеханова Л.Н., Идрисов И.А. Почвы древних земледельческих террас Восточного Кавказа // Почвоведение. 2021. № 5. С. 1–16.
12. Борисов А.В., Коробов Д.С., Идрисов И.А., Калинин П.И. Почвы земледельческих террас с подпорными стенками в горном Дагестане // Почвоведение. 2018. № 1. С. 26–36. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010038>
13. Виноградова В.В., Белонская Е.А., Грачева Р.Г. Динамика альбедо, температуры поверхности и растительности в межгорных котловинах северного Кавказа по спутниковым данным // Четырнадцатая всерос. открытая конф. “Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса”. М., 2016. С. 335.
14. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
15. Воронов Н.И. Сборник статистических сведений о Кавказе, издаваемый Кавказским отделом Императорского Русского географического общества М., 1869. Т. I. 653 с.
16. Гаглоева З.Д. Земледельческие орудия у Южных Осетин // Известия Юго-Осетинского научно-исследовательского института. 1957. № 8. С. 204–223.

17. Гаджиев М.С. К изучению земледелия Кавказской Албании // Проблемы истории, филологии, культуры выпуск VIII. Магнитогорск, 2000. С. 332–343.
18. Гегешидзе М.К. Террасное орошаемое земледелие в Грузии (опыт историко-этнографического исследования). Тбилиси: Мецниереба, 1990. 294 с.
19. Гмыря Л.Б. Орудия труда Паласа-Сыртского поселения // Горы и равнины северо-восточного Кавказа в древности и средние века. Махачкала, 1991. С. 182–188.
20. Давыдов О.М. Археология, этнография и фольклористика Кавказа: новейшие археологические и этнографические исследования на Кавказе. Мат-лы Междунар. научн. конф. М., 2010. С. 305–413.
21. Демкина Т.С., Хомутова Т.Э., Каширская Н.Н., Стретович И.В., Демкин В.А. Характеристика микробных сообществ степных подкурганов палеопочв Сарматского времени (I–IV вв. н.э.) // Почвоведение. 2009. № 7. С. 836–846.
22. Залибеков З.Г. Классификации и диагностика почв Дагестана. Махачкала: Изд-во Дагестанского центра АН СССР, 1982. 84 с.
23. Залибеков З.Г. Почвы Дагестана. Махачкала: ДНЦ РАН, 1998. 243 с.
24. Котович В.М. Верхнегунибское поселение – памятник эпохи бронзы горного Дагестана. Махачкала, 1965. С. 50, 60.
25. Пинской В.Н., Идрисов И.А., Каширская Н.Н., Ельцов М.В., Потапова А.В., Борисов А.В. Влияние экспозиции на химические и биологические свойства почв земледельческих террас Восточного Кавказа // Аридные экосистемы. 2022. Т. 28. № 2(91). С. 113–121.
26. Практикум по почвоведению / Под ред. Кауричева И.С. М.: Колос, 1973. 279 с.
27. Савинецкий А.Б. Вековая динамика пастбищных экосистем Центральной части Северного Кавказа за последние тысячелетия // Историческая экология диких и домашних копытных. История пастбищных экосистем. М., 1992. С. 165–166.
28. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Под ред. Киреевой Н.А., Мелентьева А.И. М.: Наука, 2005. 252 с.
29. Anderson J.P.E., Domsch K.H.A. Physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. V. 10(3). P. 215–221.
30. Azaiez N., Alleoua A., Baazaoui N., Qhtani N. Assessment of Soil Loss in the Mirabah Basin: An Overview of the Potential of Agricultural Terraces as Ancestral Practices (Saudi Arabia) // Open J. Soil Sci. 2020. V. 10(05). P. 100065.
31. Brown A.G., Fallu D., Walsh K., Cucchiario S., Tarolli P., Zhao P., Pears B.R., Oost K., Snape L., Lang A., Albert R.M., Alsos I.G., Waddington C. Ending the Cinderella status of terraces and lynchets in Europe: The geomorphology of agricultural terraces and implications for ecosystem services and climate adaptation // Geomorphology. 2021. V. 379. P. 20.
32. Cambi M., Giambastiani Y., Giannetti F., Nuti E., Dani A., Preti F. Integrated Low-Cost Approach for Measuring the State of Conservation of Agricultural Terraces in Tuscany, Italy // Water. 2021. V. 13(2). P. 113. <https://doi.org/10.3390/w13020113>
33. Cucchiario S., Paliaga G., Fallu D.J., Pears B.R., Walsh K., Zhao P., Van Oost K. et al. Volume estimation of soil stored in agricultural terrace systems: A geomorphometric approach // Catena. 2021. V. 207. P. 105687 p. 20.
34. Demkina T.S., Popova I.V., Demkin V.A. Characterization of the microbial communities in the modern and buried under kurgans soils of solonchik complexes in the dry steppes of the Lower Volga Region // Eurasian Soil Science. 2013. V. 7. P. 768–777. <https://doi.org/10.1134/S106422931307003X>
35. Die C., Wei W., Liding C. Effects of terracing on soil properties in three key mountainous regions of China // Geography and Sustainability. 2021. V. 12(3). P. 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.08.002>
36. Kandeler E., Gerber H. Short-term assay of urease activity using colorimetric determination of ammonium // Biol. Fertile. Soils. 1988. V. 6(1). P. 68–72.
37. Ryabogina N., Borisov A, Idrisov I., Bakushev M. Holocene environmental history and populating of mountainous Dagestan (Eastern Caucasus, Russia) // Quarter. Int. 2019. V. 516. P. 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.06.020>
38. Sabir M. The Terraces of the Anti-Atlas: From Abandonment to the Risk of Degradation of a Landscape Heritage // Water. 2021. V. 13(510). <https://doi.org/10.3390/w13040510>
39. Sam Turner, Tim Kinnaird, Gündler Varinlioğlu, Tefvik Emre Şerifoğlu, Elif Koparal, Volkan Demirciler, Dimitris Athanasoulis et al. Agricultural terraces in the Mediterranean: medieval intensification revealed by OSL profiling and dating // Antiquity. 2021. V. 95(381). P. 773–790. <https://doi.org/10.15184/aqy.2020.187>
40. Sandor J.A., Huckleberry G., Hayashida F.M., Parcerro-Oubiña C., Salazar D., Troncoso A., Ferro-Vázquez C. Soils in ancient irrigated agricultural terraces in the Atacama Desert, Chile // Geoarchaeology. 2021. V. 37. P. 96–119. <https://doi.org/10.1002/gea.21834>
41. Spenser J.E., Hale G.A. The origin, nature, and distribution of agricultural terracing // Pacific Viewpoint. 1961. V 2(1). P. 1–121.
42. Stavi I., Rozenberg T., Al-Ashhab A., Argaman E., Groner E. Failure and Collapse of Ancient Agricultural Stone Terraces: On-Site Effects on Soil and Vegetation // Water. 2018. V. 10(10). P. 1400. <https://doi.org/10.3390/w10101400>
43. Yanru Wen, Till Kasielke, Hao Li, Bin Zhang, Haral Zepp. May agricultural terraces induce gully erosion? A case study from the Black Soil Region of Northeast China // Sci. Total Environ. 2021. V. 750. P. 141517. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141715>

Soils of Agricultural Terraces on Clay Shales in the Mid-Mountain Zone of the Eastern Caucasus

V. N. Pinskoy^{1, *}, I. A. Idrisov², N. N. Kashirskaya¹, M. V. Yeltsov¹, and A. V. Borisov¹

¹*Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia*

²*Institute of Geology of the DNC, Russian Academy of Sciences, Makhachkala, 375000 Russia*

**e-mail: pinskoy@inbox.ru*

The article considers the chemical properties and biological activity of soils of agricultural terraces on clay shales in the mid-mountain zone of the Eastern Caucasus. It is established that the area of terraced plots in the southern zone of Shale Dagestan is about 264 km² of the territory. These soils are currently in a fallow state but represent a significant reserve of highly fertile erosion-resistant soils, the cultivation of which, unlike soils on consolidated rocks, is possible with the help of modern technology. The influence of slope exposure, steepness, terrace size, duration of the plowing period on the chemical properties and biological activity of soils has been studied. It is shown that for background soils outside the terracing zone, the slope exposure has a decisive influence. For terraced areas, the impact of exposure is less pronounced. The formation of a vertical terraced surface led to a change in the thermal regime, as a result of which the differences in chemical and microbiological properties of soils on the slopes of the northern and southern exposures became less pronounced. The leveling effect of terracing is most noticeable on relatively gentle slopes (12°–18°), where the width of the terraced canvas is greatest. On steep slopes (>20°) with narrow terraces, the influence of slope exposure on soil properties remains. At the same time, factors such as the duration of soil functioning and the features of agricultural technology have no less significant impact on soil properties. The regularities of changes in soil properties within the body of any single terrace have been established. The most fertile area within one terrace is the instrument part, where the profile depth is greatest. As we approach the rear seam of the terrace, a natural decrease in a number of biological and chemical indicators is observed.

Keywords: agricultural terraces, slope exposure, chemical composition, biological activity