

УДК 631.41

doi: 10.17223/19988591/56/2

Э.А. Гурбанов<sup>1</sup>, Ф.М. Рамазанова<sup>2</sup>, С.М. Гусейнова<sup>3</sup>, З.Р. Гурбанова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Азербайджанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Баку, Азербайджан

<sup>2,3</sup>Национальная академия наук Азербайджана, Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Баку, Азербайджан

<sup>4</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,  
г. Баку, Азербайджан

## **Изменение противозерозивной стойкости орошаемых серо-коричневых почв сухой субтропической зоны Азербайджана в зависимости от давности их орошения**

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения  
и агрохимии Национальной академии наук Азербайджана,  
Азербайджанского государственного архитектурно-строительного университета,  
Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности.

*Впервые изучены и изложены результаты исследований по изменению противозерозивной стойкости орошаемых серо-коричневых почв (WRB (2014) *Haplic Kastanozems* / *Haplic Calcisols*) предгорных и равнинных территорий сухой субтропической зоны Азербайджана в зависимости от давности их орошения. Выявлены изменения морфологических профилей, физических и химических свойств целинных и орошаемых серо-коричневых почв. Определена связь количественных показателей противозерозивной стойкости почв с величинами размывающей скорости потока с водопрочностью структуры, плотностью почвы, высотой выступов шероховатости. Дана оценка и установлена зависимость плотности твердой фазы, плотности сложения и порозности орошаемых серо-коричневых почв от содержания гумуса, гранулометрического состава и давности их орошения. Установлено, что противозерозивную стойкость серо-коричневых почв в зависимости от давности их орошения по мере снижения донной размывающей скорости потока и противозерозивной устойчивости можно расположить в следующий ряд: целина→орошаемые (около 100 лет)→давноорошаемые (более 300 лет)→новоорошаемые (20–25 лет). На основании полученных результатов определено место серо-коричневых почв в зависимости от давности орошения в системе международной классификации WRB (2014): целина, насыщенная глеевая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва – *Duric Gleyic Kastanozems (Loamic)*; – новоорошаемые серо-коричневые (20–25 лет), мощная новая орошаемая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва – *Newly irrigated Grey Cinnamonic (20–25 years old) – Someric Calcic Kastanozems (Loamic)*; – орошаемая серо-коричневая почва (около 100 лет), мощная окультуренная орошаемая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва – *Someric Kastanozems (Anthric,**

*Loamic*); – давноорошаемые серо-коричневые (иригационно-аккумулятивные) (более 300 лет), мощная глеевая окультуренная давноорошаемая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва – *Gleyic Petrocalcic Kastanozem* (*Anthric, Loamic*).

**Ключевые слова:** *Naptic Calcisols*; серо-коричневые почвы; длительность орошения; иригационная эрозия; Азербайджан

**Для цитирования:** Гурбанов Э.А., Рамазанова Ф.М., Гусейнова С.М., Гурбанова З.Р. Изменение противоэрозионной стойкости орошаемых серо-коричневых почв сухой субтропической зоны Азербайджана в зависимости от давности их орошения // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 56. С. 33–59. doi: 10.17223/19988591/56/2

## Введение

Главная проблема мирового земельного фонда, особенно в засушливых зонах, – деградация [1–4]. Высокий уровень вовлеченности земельного фонда в сельскохозяйственный оборот в сухостепной зоне пастбищ при перевыпасе скота, *несоблюдении правил и норм полива в орошаемом земледелии* часто сопровождается дегумификацией, засолением, развитием процессов ветровой и иригационной эрозии [1, 5, 6]. В мире 31% суши подвержено водной эрозии; ежегодно смывается в мировой океан до 60 млрд т почвенного материала [7]; в Белоруссии площадь эродированных почв занимает около 480 тыс. га [8], в Российской Федерации – из 36,5 млн га сельхозугодий, подверженных водной эрозии, 24,7 млн га составляет пашня, вымывается около 1,5 млрд т плодородного слоя [9], в США полностью разрушено или серьезно повреждено около 115 млн га пахотной земли, 313 млн га в различной степени подвержены эрозионным процессам. Согласно прогнозу Института наблюдений за состоянием мира (Нью-Йорк) при существующих темпах развития эрозии к 2030 г. плодородной земли на планете станет меньше на 960 млрд т [4, 7]. В связи с этим точная оценка эрозии, вызванной орошением, имеет важное значение для разработки плана управления эрозией и контролем загрязнения [10]. Среди почвенных показателей непосредственное влияние на опасность иригационной эрозии оказывает противоэрозионная стойкость почвы (размер и вес отдельных почвенных частиц и агрегатов, шероховатость поверхности почвы) [6, 11, 12], а ее критерием служит «размывающая скорость» водного потока, при которой начинается «сплошной» отрыв частиц [13]. Эти процессы широко распространены на предгорных и равнинных территориях сухостепной зоны Азербайджана, и иригационная эрозия проявляется на площади более 255 тыс. га. Ущерб, который причиняет иригационная эрозия сельскому хозяйству республики, проявляется не только в разрушении структуры почв, но и в выносе из почвы питательных элементов [14, 15]. Однако закономерности изменения противоэрозионной стойкости орошаемых серо-коричневых почв сухой субтропической зоны Азербайджана в зависимости от давности орошения многообразны и недостаточно изучены, поэтому проведение исследований в этом направлении является актуальным [16].

Цель настоящей работы – исследовать изменение противозерозионной стойкости орошаемых серо-коричневых почв предгорных и равнинных территорий сухой субтропической зоны Азербайджана в зависимости от давности орошения. На основании полученных результатов определить место серо-коричневых почв в зависимости от давности орошения в системе международной классификации WRB (2014).

### Материалы и методики исследования

Объект исследования – серо-коричневые почвы предгорий и равнин сухой субтропической зоны Азербайджана. В классификации и диагностике почв СССР 1977 г. серо-коричневые почвы относят к реферативной группе – Grey-cinnamonic soils /Luviс Calcicoils/ Luvi-Calcic Kastanozems [17] (оглиненные карбонатные почвы с малогумусным профилем, каштаново-коричневым цветом верхнего горизонта, по строению и свойствам являются переходными между коричневыми почвами и сероземами) [18, 19], по классификации почв Азербайджана – к серо-коричневым (Grey Cinnamonic) [20], по WRB (2014) – Haplic Kastanozems/ Haplic Calcisols [21]. В табл. 1 приведены объекты исследований и их местоположение. Общая площадь серо-коричневых почв составляет около 1,4 млн га. В геоморфологическом отношении они приурочены к предгорным наклонным равнинам, расчлененным подгорьями, увалисто-холмистыми, в основном водно-эрозионными, аккумулятивными формами рельефа Кура-Аразской низменности (Бейлаган, Евлах и Агдаш), Приаразской полосы (Билисувар), Гянджа-Казахского массива, который располагается между горными хребтами Большого и Малого Кавказа (Актафа), южного склона Большого Кавказа (Ахсу) и подножья Большого Кавказа (Геокчай) [14]. Почвообразующими породами серо-коричневых почв Бейлаганского района являются щебнисто-мелкоземисто-карбонатные суглинки или лессовидные суглинки и глины, Евлахского – делювиальные и делювиально-пролювиальные карбонатные суглинки, Агдашского – аллювиально-пролювиальные валунно-галечниковые мелкоземистые отложения, Билисуварского – омергеленные, высокогипсоносные суглинки со смесью галечниковых отложений, Актафинского – верхнечетвертичные, тяжелосуглинистые и легкоглинистые аллювиально-пролювиальные отложения, Ахсуинского – глинистые солонные отложения аллювиально-пролювиального происхождения, Геокчайского – песчаники, валунно-галечниковые слоистые отложения. Почвообразовательный процесс целинных почв протекает в основном в условиях недостаточной влажности при ослабленном или зачастую непромывном водном режиме, а орошаемых – в промывном ирригационном режиме увлажнения на фоне смены периодов нисходящего (прохладный) и восходящего (сухой летний) движений растворов, в составе которых преобладают бикарбонаты кальция и магния [14].

Климат территорий распространения серо-коричневых почв засушливый с высокой теплообеспеченностью и недостаточным атмосферным увлажнением. Зима засушливая, теплая со средней годовой температурой в январе

+1–+2 °С. Снежный покров неустойчивый. Лето жаркое – +25...+26 °С (в июле). Среднегодовая температура воздуха составляет +14...+15 °С, сумма активных температур – 3 500–4 500 °С, годовое количество выпадающих осадков – 250–500 мм, максимум их приходится на осенне-зимне-весенний период, лето засушливое. Коэффициент увлажнения – 0,3–0,5. Индекс сухости – 2,0–3,0. Суммарная радиация составляет 122,5–128,5 ккал/см<sup>2</sup>,  $t_{\text{возд.}} > 10 \text{ °С}$  – 210–240 дней,  $t_{\text{почвы}} > 5 \text{ °С}$  – 240–270 дней [21]. Вследствие низкого количества выпадающих осадков и высокого индекса сухости целинная растительность на исследуемых территориях осталась на небольших площадях и представлена эфемероидами, бородачево-типчачковыми, полынно-бородачевыми, можжевельными сообществами (табл. 1). Величина целинной фитомассы сухостепной полосы низкая (52,0–95,0 ц/га). Значительная часть серо-коричневых почв освоена под богарное и орошаемое земледелие. В морфологическом отношении серо-коричневые почвы характеризуются четкой дифференциацией профиля, хорошо агрегированным гумусовым горизонтом (AU и A/B – 40–50 см), наличием карбонатно-иллювиального горизонта Vca. Состав обменных оснований показывает высокую насыщенность почв катионом Са (19–29 мг-экв./100 г. почвы). Величина азота в верхних горизонтах составляет 0,20–0,30%. Отношение C:N – 7,0–9,0. По гранулометрическому составу почвы тяжелосуглинистые и легкоглинистые, с преобладанием пылеватых частиц, степень илистости составляет – 42–52%. Содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм – 43–48%, гумуса – 2,28–2,65%, водопроницаемость – 1,1–1,2 мм/мин, рН – 7,5–8,5 [22].

Основные методы исследования противоэрозийной стойкости серо-коричневых почв – сравнительно-географический (географические закономерности распределения данных почв по гранулометрическому составу и гумусированности пахотного горизонта) и сравнительно-аналитический. На типичных участках заложены почвенные разрезы, определены высоты над уровнем моря и их географические координаты, проведено морфологическое описание, по генетическим горизонтам отобраны почвенные образцы [19, 21, 23, 24]. Противоэрозийная стойкость почв определена донной размывающей скоростью потока – по М.С. Кузнецову [13], водопрочность агрегатов – методами сухого и «мокрого» агрегатного анализа по Саввинову, плотность твердой фазы – пикнометрическим методом, гранулометрический состав – методом пипетки (вариант Н.А. Качинского при подготовке к анализу почвы пирфосфатным методом по С.И. Долгову и А.И. Личмановой), плотность почвы – буром по общепринятой методике [25, 26]. Значение выступов шероховатости почв определено по соотношению

$$\Delta = 0,7\bar{d}_w,$$

где  $\bar{d}_w$  – средневзвешенный диаметр водопрочных агрегатов. Величина рассчитана по результатам структурного анализа почвы по методу Н.И. Саввинова при исходной влажности W [27], содержание общего гумуса  $\bar{d}_w$  – по

Т а б л и ц а 1 [Table 1]

Местоположение объектов исследований и их характеристики  
[The location of research objects and their characteristics]

Координаты [Coordinates]	Место проведения исследований [Research location]	Тип почвы [Type of soil]	Абс. высота, м над ур.м. [Absolute height, m a.s.l.]	Рельеф, уклон° [Relief, slope°]	Целинная растительность и возделываемые культуры [Virgin crops and cultivated crops]
39°46'02.2"N 47°36'13.3"E	Бейлаганский р-н [Beylagan region]	Серо-коричневая, (целина) [Grey Cinnamomic] (virgin soils)	60–70  250–260	Предгорная волнистая, холмистая равнина, 0,8–15° [Piedmont undulating, rolling plain, 0.8-1.5°]  Предгорная наклонная равнина, 0,7–1,0° [Piedmont sloping plain, 0.7-1.0°]	Полынь горькая [ <i>Artemisia absinthium</i> L.], бородач обыкновенный [ <i>Andropogon ischaemum</i> L.], овсяница каменная [ <i>Festuca sulcata</i> (Hack.) Nutt.], пырей ползучий [ <i>Elymus repens</i> L.], свино- рой пальчатый [ <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.], ковыль волосатик [ <i>Stipa sar- pilata</i> L.], мятлик луковичный [ <i>Poa annua</i> L.], мышехвостник маленький [ <i>Myosurus minimus</i> L.], можжевельник обыкновенный [ <i>Juniperus communis</i> L.], рогозник ячжковидный [ <i>Cera- tosephala testiculata</i> (Craatz) Besser]
40°63'24.62"N 47°49'11.92"E	Агдашский район [Ağdash region]	Новоорошаемые серо-коричневые, (20–25 лет) [Newly irrigated Grey Cinnamomic] (20–25 years old)	250–280  250–300	Предгорная равнина [Piedmont plain]  Предгорная низменность [Piedmont lowland]	Рожь [ <i>Secale cereale</i> L.], хлопчатник [ <i>Gossypium tomentosum</i> Nutt. ex Seem.], томаты [ <i>Solanum lycopersicum</i> L.], твердая пшеница [ <i>Triticum durum</i> Desf.], кукуруза [ <i>Zea mays</i> L.]
40°37'10.5"N 47°44'29.5"E	Геокачайский район [Geokhchay region]				

О к о н ч а н и е т а б л . 1 [Table 1 (end)]

Координаты [Coordinates]	Место проведения исследований [Research location]	Тип почвы [Type of soil]	Абс. высота, м над ур.м. [Absolute height, m a.s.l.]	Рельеф, уклон <sup>о</sup> [Relief, slope <sup>o</sup> ]	Целинная растительность и возделываемые культуры [Virgin crops and cultivated crops]
39°48'36.49"N 48°43'35.24"E	Биясуварский район [Bilasuvag region]		40–50	Низменность, наклонная по направлению на восток, 1° [Lowland inclined towards the east, 1°]	Рожь [ <i>Secale cereale</i> L.] + вика озимая [ <i>Vicia villosa</i> Roth] + рапс [ <i>Brassica napus</i> L.] → кукуруза [ <i>Zea mays</i> L.] + соя культурная [ <i>Glycine max</i> (L.) Merr.] + сорто двуцветное [ <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench] + амарант багряный [ <i>Amaranthus cruentus</i> L.] → ячмень обыкновенный [ <i>Hordeum vulgare</i> L.] + вика озимая [ <i>Vicia villosa</i> Roth]; люцерна посевная [ <i>Medicago sativa</i> L.], твердая пшеница [ <i>Triticum durum</i> Desf.]
40°44'34.18"N 46°06'51.13"E	Евлахский район [Yevlakh region]	Орошаемые се- ро-коричневые, (около 100 лет) [Irrigated Grey Cinnamonic (about 100 years old)]	250–260	Предгорная наклонная низменность, 0,5–1,0° [Piedmont sloping lowland, 0.5-1.0°]	
40°55'39.53"N 48°35'04.18"E	Ахсуинский р-н [Akhsu region]		250–260	Предгорная холмистая равнина, 1–1,4° [Piedmont rolling plain, 1-1.4°]	
41°06'11.17"N 45°28'07.32"E	Актафинский р-н [Aghstafa region]		270–344	Наклонная равнина, 0,4–0,9° [Sloping plain, 0.4-0.9°]	
39°44'25.56"N 48°42'52.72"E	Биясуварский район [Bilasuvag region]	Давноорошаемые (иригационно- аккумулятивные) серо-коричневые, (более 300 лет) [For a long time-irrigated Grey Cinnamonic (over 300 years old)]	40–50	Низменность, наклонная по направлению на восток, 1–1,3° [Lowland inclined towards the east, 1-1.3°]	Томаты [ <i>Solanum lycopersicum</i> L.], твердая пшеница [ <i>Triticum durum</i> Desf.], люцерна посевная [ <i>Medicago sativa</i> L.], хлопчатник [ <i>Gossypium tomentosum</i> Nutt. ex Seem.], кукуруза [ <i>Zea mays</i> L.], соя культурная [ <i>Glycine max</i> (L.) Merr.]
39°76'45.13"N 47°59'13.50"E	Бейлаганский район [Beylagan region]		90–100	Предгорная волнистая, холмистая равнина, 1° [Piedmont undulating, rolling plain, 1°]	

И.В. Тюрину в модификации Никитина, целлюлозолитическая активность – аппликационным методом по разложению хлопчатобумажного полотна (повторность – трехкратная) [28]. Статистическая обработка полученных данных проведена по Б.А. Доспехову [29].

### Результаты исследования и обсуждение

Орошение имеет тенденцию изменять морфологические, физические и химические свойства почвы, делая их подобными почвам, образовавшимся при повышенном количестве осадков в засушливых и полувасушливых зонах [30]. Выявлено, что сельскохозяйственное использование целинных серо-коричневых почв в зависимости от их географического расположения на разных широтах, состава и свойств почвообразующих пород, давности орошения привело к различным морфологическим изменениям почвы и мощности генетических горизонтов и является одним из основных факторов, определяющих изменение противоэрозионной стойкости почв сухостепной зоны Азербайджана. Установлено, что новоорошаемые серо-коричневые почвы в Агдашском (Кура-Аразская низменность) и Геогчайском (подножье гор Большого Кавказа) районах находятся в начальной стадии освоения и орошения; преобладает особенность зонального почвенного типа. Окультуренный слой (мощность 25–30 см) сформирован не полностью, новые пахотные (A1 – 22–27 см) и подпахотные горизонты (A2 – 15–16 см) несколько уплотнены. В пахотных и подпахотных горизонтах структура ухудшена, опущен уровень карбонатных и гипсовых горизонтов. Максимальное их накопление отмечено в нижних горизонтах. В Билясуварском (Приаразская полоса), Евлахском (Кура-Аразская низменность), Акстафинском (между горными хребтами Большого и Малого Кавказа) и Ахсуинском (южный склон Большого Кавказа) районах серо-коричневые орошаемые почвы находятся во второй стадии культурного почвообразовательного процесса. Морфологическое строение профиля резко отличается от целинных и новоорошаемых почв с преобладанием признаков, присущих окультуренным почвам. Профиль обладает четкой цветовой дифференциацией. Сформирован окультуренный слой (52–56 см), пахотный горизонт составляет 25–28 см; подпахотный – 24–26 см, иллювиально-карбонатный горизонт выражен слабо, снижен до 96–101 см. Давноорошаемые (ирригационно-аккумулятивные) серо-коричневые почвы в Билясуварском (Приаразская полоса) и Бейлаганском (Кура-Аразская низменность) районах под воздействием длительного орошения мутными водами и постоянной обработки полностью потеряли признаки зональных первичных почв и приобрели особый тип почвенного профиля. Это, прежде всего, относится к распределению гумуса, карбонатов и гипса в почвенном профиле. Развиваясь в условиях промывного ирригационного режима увлажнения, сопровождаемого привнесением мутными поливными водами питательных элементов, растворимых солей и взвешенных

частиц, на мощных агроирригационных отложениях серо-коричневые почвы приобретают монотонный серовато-коричневатый цвет, однородность профиля и сложения, полностью сформированного окультуренного слоя мощностью 65–70 см. На глубине 61–83 см встречаются погребенные горизонты.

Противоэрозийная устойчивость почв является интегральным показателем, который невозможно объективно оценить только при помощи какого-то одного фактора, а целесообразно привлекать к анализу другие показатели агрофизического состояния почв [3, 13]. Гумус является одним из факторов, снижающих подверженность почвы эрозионным процессам, путем «склеивания» гранулометрических элементов в микро и макроагрегаты, образуя гуматы кальция и магния, которые выпадают в осадок и служат центрами агрегатообразования [31, 32].

При исследовании проявления ирригационной эрозии на серо-коричневых почвах, которые развиваются на различных по генезису почвообразующих породах, установлено, что наиболее интенсивно она протекает на новоорошаемых вариантах, расположенных у подножья гор Большого Кавказа, имеющих приподнятый и наклонный рельеф, а также в Кура-Аразской низменности. Почвообразующими породами на этих территориях являются песчаники, валунно-галечниковые слоистые отложения, аллювиально-пролювиальные валунно-галечниковые мелкоземистые отложения. На таких почвах с ухудшением агрофизических свойств возрастает подверженность эрозии, которая может привести к полной потере гумусового горизонта [22]. Вовлечение серо-коричневых почв в орошаемое земледелие оказывало негативное воздействие на органическую часть почвы, проявившись в снижении содержания гумуса, что оказалось довольно информативным при сопоставлении данных по гумусу целинных и орошаемых почв (табл. 2). Со временем после распашки и орошения целины потери гумуса постепенно замедляются, и спустя несколько десятилетий его содержание в почве стабилизируется [33, 34], что и наблюдается на территориях давноорошаемых (ирригационно-аккумулятивные) почв.

При сопоставлении среднестатистических данных гумуса (М) выявилось, что величина потерь гумуса при орошении зависит также от давности орошения почв. В целинных почвах содержание гумуса, по среднестатистическим данным, в смываемых зонах (0–25 см) составило 2,68%, а после орошения его величина снизилась на 0,47% в новоорошаемых, на 0,30% – в орошаемых и на 0,19% – в давноорошаемых (ирригационно-аккумулятивных) вариантах. Решающая роль в накоплении почвенного органического вещества (гумуса) принадлежит травянистой растительности [34]. В новоорошаемых серо-коричневых почвах по сравнению с орошаемыми и давноорошаемыми снижение содержания гумуса объясняется не только недостаточным поступлением в почву органического вещества после хлопчатника, помидоров и пшеницы, но и небольшим содержанием в растительных остатках

азота. Из орошаемых почв давноорошаемые хорошо микроагрегированы и отличаются относительно наибольшим содержанием в пахотных горизонтах гумуса (2,49%). Это можно объяснить привнесом мутными поливными водами питательных элементов, растворимых солей, взвешенных частиц и их накоплением длительное время. Агроирригационные слои показывают снижение содержания гумуса по сравнению с верхними горизонтами, но его содержание в средних частях профиля (25–50 и 50–100 см) орошаемых почв всегда больше (1,78–2,29% и 0,93–1,34%), чем в целинных –1,19% и 0,72%. Под влиянием орошения изменилось распределение гумуса по профилю. В давноорошаемых почвах гумус распределен равномерно по всему почвенному профилю до 50–100 см.

Т а б л и ц а 2 [Table 2]

**Содержание гумуса в серо-коричневых почвах в зависимости  
от давности орошения**  
[The humus content in Grey Cinnamonic soils depending on the age of irrigation]

Почвы [Soils]	Глубина образца, см [Depth, cm]	Число случаев, шт. [Number of cases, pcs.]	Содержание гумуса [Humus content], % ( $M \pm m_M$ )
Серо-коричневая (целина) [Grey Cinnamonic] (virgin soils)	0–25	20	2,68±0,076
	25–50	20	1,19±0,113
	50–100	20	0,72±0,053
Новоорошаемые серо-коричневые (20–25 лет) [Newly irrigated Grey Cinnamonic] (20-25 years old)	0–25	26	2,21±0,092
	25–50	26	1,78±0,098
	50–100	26	0,93±0,067
Орошаемые серо-коричневые (около 100 лет) [Irrigated Grey Cinnamonic] (about 100 years old)	0–25	25	2,38±0,105
	25–50	25	1,85±0,91
	50–100	25	1,02±0,097
Давноорошаемые (ирригационно-аккумулятивные) серо-коричневые (более 300 лет) [For a long time - irrigated Grey Cinnamonic] (over 300 years)	0–25	31	2,49±0,121
	25–50	31	2,29±0,118
	50–100	31	1,34±0,109

*Примечание [Note]:*  $M \pm m_M$  – средняя арифметическая с ошибкой средней арифметической [Mean and standard error of the mean].

Степень противозерозионной стойкости почв целесообразно определять, применяя биодиагностику [36], которая реагирует на отрицательные видоизменения на ранних этапах их проявления. Один из чувствительных методов биодиагностики – определение целлюлозолитической активности почвы. При этом степень ее проявления зависит от уровня эродированности почвы, возделываемых культур и давности орошения [36]. При повышении целлюлозолитической активности в орошаемом варианте (3 урожая зеленой массы в год с 1 га) происходит минерализация негумифицированных раститель-

ных остатков с иммобилизацией азота, который высвобождают микроорганизмы. Здесь часть гумуса минерализуется, что приводит к повышению содержания в почве лабильных гумусовых веществ за счет новообразованных гумусовых веществ.

Причины устойчивости разных типов почв к водной эрозии в значительной мере связаны с их гранулометрическим составом [25, 37], определяющим характер связей между частицами и их прочность [34]. Исследования показывают, что в серо-коричневых почвах в зависимости от давности орошения гранулометрический состав претерпел определенные изменения – отмечается иллювиирование илистой фракции из пахотных слоев почв в подпахотные и нижележащие горизонты (табл. 3). В пахотных слоях (0–25 см) новоорошаемых серо-коричневых почв содержание частиц фракции <0,001 мм ниже (24,2%), чем на целинных (25,8%), орошаемых (27,4%) и давноорошаемых (28,4%) почвах. Под влиянием эрозионных процессов происходит утяжеление гранулометрического состава пахотного слоя почвы [36]. Среднестатистические значения фракций <0,01 мм и <0,001 мм показывают, что наименьшее перемещение илистой фракции с пахотных слоев (0–25 см) почв в подпахотные слои (25–50 см) по сравнению с новоорошаемыми почвами отмечено на орошаемом варианте (на 0,6%), а наибольшее (на 8,2%) – на давноорошаемом. Отмечено, что в процессе орошения снижение илистой фракции во всех вариантах приводило к увеличению количества физической глины (на 0,6–3,5%) и утяжелению гранулометрического состава. Наибольшее содержание частиц фракций <0,001 и <0,01 мм в пахотных и подпахотных слоях давноорошаемых серо-коричневых почв указывает на их относительно высокую противозерозионную устойчивость по сравнению с целинными, новоорошаемыми и орошаемыми вариантами.

Способность гумуса склеивать, цементировать частицы почвы в водопрочные агрегаты непосредственно должна сказываться на противозерозионной стойкости почв [38], и водопрочность почвенной структуры, как и многие другие свойства почвы, динамична и изменяется в пространстве и во времени [4, 39, 40]. Некоторые исследователи считают, что почва, находящаяся под длительным антропогенным воздействием слабо микроагрегирована, противозерозионная стойкость неудовлетворительная, а способность к агрегированию слабая [41], в связи с этим особое значение имеет хорошая структура почвы в районах опасности проявления ирригационной эрозии [42].

Исследования показывают, что физическое состояние серо-коричневых почв во многом зависит от давности орошения, способа полива, возделываемых культур и характеризуется различным агрегатным составом (табл. 4).

Неорошаемые (целинные) серо-коричневые почвы характеризуются довольно неплохим содержанием глыбистых отдельностей (11–16%).

Т а б л и ц а 3 [ T a b l e 3 ]

**Данные гранулометрического состава серо-коричневых почв  
в зависимости от давности орошения  
[Data on the granulometric composition of Grey Cinnamonic soils  
depending on the age of irrigation]**

Почва	Глубина образца, см [Depth, cm]	Число образцов, шт. [Number of samples, pcs]	Фракция [Fraction]					
			0,01 mm, %			<0,001 mm, %		
			$M \pm m_M$	$SD$	$CV$	$M \pm m_M$	$SD$	$CV$
Серо-коричневая (целина) [Grey Cinnamonic] (virgin soils)	0–25	20	57,6±0,80	4,64	8,04	25,8±0,30	1,71	6,60
	25–50	20	59,2±1,25	7,38	12,45	27,7±0,42	5,41	19,54
Новоорошаемые серо-коричневые (20–25 лет) [Newly irrigated Grey Cinnamonic] (20-25 years old)	0–25	26	56,7±1,18	6,76	11,93	24,2±1,04	5,94	24,81
	25–50	26	58,7±1,26	8,47	14,42	26,7±0,82	5,52	14,42
Орошаемые серо-коричневые (около 100 лет) [Irrigated Grey Cinnamonic] (about 100 years old)	0–25	15	59,6±1,21	7,48	12,55	27,4±0,77	4,83	17,60
	25–50	25	60,2±1,48	6,26	11,12	28,0±0,95	4,16	18,90
Давноорошаемые серо-коричневые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет) [For a long time-irrigated Grey Cinnamonic] (over 300 years old)	0–25	31	60,8±0,85	5,21	8,58	28,4±0,68	4,80	18,91
	25–50	31	64,3±0,93	5,36	8,34	36,6±0,88	5,01	17,45

*Примечание [Note]:* Здесь и далее в таблицах [Here and further in the tables]  $M \pm m_M$  – средняя арифметическая с ошибкой средней арифметической [Mean and standard error of the mean];  $SD$  – среднее квадратическое отклонение [Standard Deviation];  $CV$  – коэффициент вариации [the Coefficient of variation].

Водопрочный агрегатный состав ( $>0,25$  мм) в горизонте 0–25 см данных почв при среднестатистическом значении (54,08%) указывает на их среднюю структурность. Вследствие орошения серо-коричневых почв содержание водопрочных агрегатов  $>0,25$  мм в пахотных слоях (0–25 см) почвы по среднестатистическим значениям по сравнению с целинным вариантом (54,08%) снижается до 35,83% в новоорошаемых, в орошаемых – до 38,23% и в ирригационно-аккумулятивных (давноорошаемых) – до 40,40%. Здесь выявляется зависимость агрегированности пахотных слоев почв с содержанием гумуса, рельефа, почвообразующих пород, давности орошения и т.д. Результаты установления водопрочности агрегатов подтверждают, что орошаемые серо-коричневые почвы, особенно новоорошаемые, имеют низкую водопрочность.

Окультуривание почв должно быть направлено на улучшение агрохимических и физических свойств [43, 44], а изменение структуры эродированной почвы приводит к изменениям величин плотности, общей пористости. Влажность почвы совместно с содержанием гумуса изменяют ее плотность, а структурность и плотность – водопроницаемость [45].

Т а б л и ц а 4 [Table 4]

**Среднее содержание водопрочных агрегатов размером >0,25 мм в серо-коричневых почвах в зависимости от давности орошения**  
**[Average content of water-resistant aggregates > 0.25 mm in size of Grey Cinnamonic soils depending on the age of irrigation], %**

Почвы [Soils]	Глубина образца, см [Depth, cm]	Число образцов, шт. [Number of samples, pcs.]	Плотность, г/см <sup>3</sup> [Density, g / cm <sup>3</sup> ]		
			$M \pm m_M$	$SD$	$CV$
Серо-коричневая (целина) [Grey Cinnamonic] (virgin soils)	0–25	20	54,08±2,27	4,27	12,03
	25–50	20	42,91±3,36	3,81	14,50
Новоорошаемые серо-коричневые (20–25 лет) [Newly irrigated Grey Cinnamonic] (20-25 years old)	0–25	26	35,83±3,81	5,41	24,81
	25–50	26	31,95±4,17	5,52	17,45
Орошаемые, (около 100 лет) [Irrigated Grey Cinnamonic] (about 100 years old)	0–25	25	38,23±1,26	4,80	18,91
	25–50	25	37,29±1,48	5,86	17,60
Давноорошаемые серо-коричневые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет) [For a long time-irrigated Grey Cinnamonic] (over 300 years old)	0–25	31	40,40±2,31	5,35	20,96
	25–50	31	39,50±1,12	8,12	18,42

Чем меньше плотность почвы и лучше её оструктуренность, тем больше значение водопроницаемости и, следовательно, меньше скорость стекающих вод. Определение плотности серо-коричневых почв при разной давности орошения свидетельствует об отличиях по данному показателю (табл. 5).

Т а б л и ц а 5 [Table 5]

**Плотность серо-коричневых почв в зависимости от давности орошения**  
**[The density of Grey Cinnamonic soils depending on the age of irrigation]**

Почвы [Soils]	Глубина образца, см [Depth, cm]	Число образцов, шт. [Number of samples, pcs.]	Плотность, г/см <sup>3</sup> [Density, g / cm <sup>3</sup> ]		
			$M \pm m_M$	$SD$	$CV$
Серо-коричневая (целина) [Grey Cinnamonic] (virgin soils)	0–25	20	1,190±0,021	0,080	6,88
	25–50		1,352±0,034	0,098	9,29
Новоорошаемые серо-коричневые (20–25 лет) [Newly irrigated Grey Cinnamonic] (20-25 years old)]	0–25	26	1,286±0,041	0,161	13,54
	25–50		1,365±0,023	0,116	3,77
Орошаемые, (около 100 лет) [Irrigated Grey Cinnamonic] (about 100 years old)]	0–25	25	1,300±0,027	0,114	3,78
	25–50		1,414±0,025	0,115	6,98
Давноорошаемые серо-коричневые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет) [For a long time-irrigated Grey Cinnamonic] (over 300 years old)]	0–25	31	1,384±0,025	0,160	11,56
	25–50		1,420±0,010	0,074	5,21

В целинных почвах плотность в пахотном слое (0–25 см) по среднестатистическим значениям ( $M$ ) составляет  $1,19 \text{ г/см}^3$ , а с глубиной возрастает до  $1,35 \text{ г/см}^3$  (слой 25–50 см). Сравнительная характеристика серо-коричневых почв свидетельствует, что в зависимости от давности орошения в пахотном слое (0–25 см) происходит достоверное повышение плотности сложения до  $1,29 \text{ г/см}^3$  (новоорошаемые, более 20–25 лет) и  $1,38 \text{ г/см}^3$  (давноорошаемые серо-коричневые (ирригационно-аккумулятивные), более 300 лет). Наиболее уплотненный иллювиальный горизонт ирригационно-аккумулятивных (давноорошаемых) почв отмечен там, где содержание физической глины составляет 64,3%. Статистическая обработка данных показала, что наиболее высокие величины коэффициента вариации плотности сложения ( $SV = 13,54\%$ ), при среднеквадратическом отклонении ( $SD = 0,161$ ) и ошибке средней величины ( $m_M = 0,041$ ), наблюдается в новоорошаемом варианте. Однако данные показатели находились в пределах допустимых оптимальных значений плотности сложения для почв сельскохозяйственного использования (по классификации Н.А. Качинского –  $1,31\text{--}1,55 \text{ г/см}^3$ ).

Количественную характеристику противозрозионной стойкости почвы дают критические величины размывающих скоростей в зависимости от их гранулометрического состава, количества водопрочных агрегатов [13]. Исследованиями выявлено, что наибольшей донной размывающей скорости потока обладают неорошаемые (целинные) почвы –  $0,070\text{--}0,072 \text{ м/с}$ , несколько меньше – орошаемые варианты под рожь + вика + рапс → кукуруза + соя + сорго + амарант → ячмень + вика (3 урожая в год с 1 га) и рожь. Рожь, кукуруза, соя, люцерна, хлопчатник, амарант ( $0,063\text{--}0,050 \text{ м/с}$ ), потом следует давноорошаемый (ирригационно-аккумулятивный) вариант под люцерну, твердая пшеница, хлопчатник, томаты, кукуруза, соя ( $0,048\text{--}0,050 \text{ м/с}$ ) (табл. 6). Новорошаемые серо-коричневые почвы с плотностью не более  $1,286 \text{ г/см}^3$  без растительности или под томаты, хлопчатник, твердую пшеницу, рожь, кукурузу, имеют самую малую донную размывающую скорость потока ( $0,048\text{--}0,049 \text{ м/с}$ ). Стойкость к размыву орошаемых и давноорошаемых (ирригационно-аккумулятивных) почв, очевидно, связана с содержанием гумуса, поглощенных оснований и возделываемых культур (корневые системы, скрепляя частицы почв, повышают сопротивляемость отрыву агрегатов), которые создают водопрочную структуру.

Пористость зависит от гранулометрического, микроагрегатного состава и структуры почвы, от формы почвенных частиц, плотности их упаковки, и в зависимости от изменения водопрочности структуры почвы меняются пористость и устойчивость почвы к размывающему действию водного потока при орошении [13]. Наибольшее значение пористости, при плотности твердой фазы  $2,65\text{--}2,67 \text{ г/см}^3$ , отмечено на неорошаемом (целина) варианте (49–55%), в давноорошаемом (ирригационно-аккумулятивный) – снижается до 47–49%. По сравнению с новоорошаемым и давноорошаемым (ирригационно-аккумулятивным) вариантами пористость на орошаемом варианте



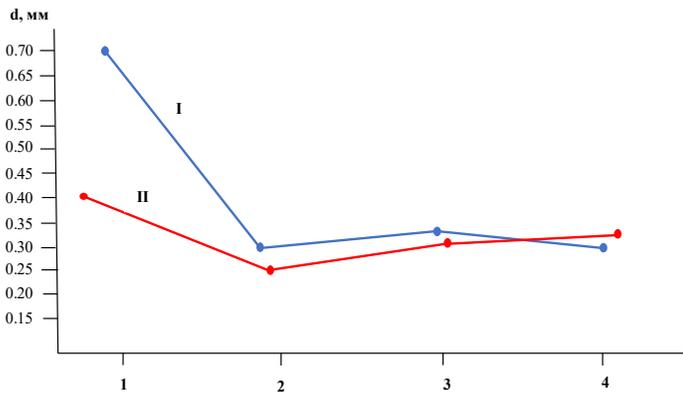
О к о н ч а н и е т а б л . 6 [ T a b l e 6 ( e n d ) ]

Почвы, давность орошения, агрофон [Soils, duration of irrigation, agricultural background]	Донная размывающая скорость потока, м/с [Bottom erosion flow rate, m/s]	Плотность твердой фазы почвы, г/см <sup>3</sup> [Density of the solid phase of soil, g/cm <sup>3</sup> ]	Пористость агрегатов [Porosity of aggregates], %
Давноорошаемые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет) [For a long-irrigated Grey Cinnamonic] (over 300 years old): люцерна посевная [ <i>Medicago sativa</i> ]; твердая пшеница [ <i>Triticum durum</i> ], хлопчатник [ <i>Gossypium tomentosum</i> ], томаты [ <i>Solanum lycopersicum</i> ], кукуруза [ <i>Zea mays</i> ], соя культурная [ <i>Glycine max</i> ]	0,050	2,71	49
	0,048	2,70	47
Давноорошаемые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет) [For a long time-irrigated Grey Cinnamonic] (over 300 years old): люцерна посевная [ <i>Medicago sativa</i> ], рожь [ <i>Secale cereale</i> ], хлопчатник [ <i>Gossypium tomentosum</i> ], томаты [ <i>Solanum lycopersicum</i> ]; люцерна посевная [ <i>Medicago sativa</i> ], соя культурная [ <i>Glycine max</i> ], томаты [ <i>Solanum lycopersicum</i> ], кукуруза [ <i>Zea mays</i> ], хлопчатник [ <i>Gossypium tomentosum</i> ]	0,049	2,70	49
	0,048	2,71	49

Важным количественным параметром почвенной структуры является средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов, который имеет значительную пространственную и временную изменчивость [13, 46]. Установлено, что наибольшая величина средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов отмечена в целинных серо-коричневых почвах (0,67–0,74 мм). При сопоставлении полученных данных наблюдается закономерное уменьшение этого показателя от целинного варианта к новоорошаемому и далее к давноорошаемому (ирригационно-аккумулятивной) вариантам (от 0,67–0,74 до 0,27–0,31 мм) (рис. 1), т.е. чем больше почва подвержена ирригационной эрозии, тем меньше средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов.

Большой средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов у целинных почв по сравнению с новоорошаемыми, орошаемыми и давноорошаемыми (ирригационно-аккумулятивными) серо-коричневыми почвами объясняется тем, что в верхнем слое почвы в формировании водоустойчивой структуры значительная роль принадлежит гумусу. При определении противозерозионной стойкости к размывающей скорости потока выявлено, что наибольшей величины обладали целинные серо-коричневые почвы – 0,0710±0,102) (табл. 7).

Высокая сопротивляемость размыву данных почв, очевидно, связана с относительно высоким содержанием гумуса, низкой плотностью сложения почвы, способных создать водопрочную структуру. Величина размывающей скорости потока новоорошаемых серо-коричневых почв при сопоставлении с целинными на 0,025 м/с меньше.



**Рис. 1.** Зависимость средневзвешенного диаметра водоустойчивых агрегатов серо-коричневой почвы в зависимости от давности орошения. По оси ординат – средневзвешенный диаметр водоустойчивых агрегатов (d, мм); по оси абсцисс (почва): 1 – целина; 2 – новоорошаемые (20–25 лет); 3 – орошаемые (около 100 лет); 4 – давноорошаемые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет). I – пахотный горизонт; II – подпахотный горизонт

**Fig. 1.** The weighted average diameter of water-resistant aggregates of Grey Cinnamonic soils depending on the age of irrigation.

Y axis - the weighted average diameter of water-resistant aggregates (d, mm); X axis - (soil): 1 - Virgin, 2 - Newly irrigated (20-25 years old), 3 - Irrigated (about 100 years old), 4 - Long-irrigated (irrigation-accumulative) (over 300 years old). I - Arable horizon; II - Subsurface horizon

Т а б л и ц а 7 [Table 7]

**Противоэрозионная стойкость рыхлых пахотных горизонтов серо-коричневых почв в зависимости от давности орошения**  
**[Anti-erosion resistance of loose arable horizons of Grey Cinnamonic soils depending on the age of irrigation]**

Почвы [Soils]	Число образцов, шт. [Number of samples, pcs.]	Размывающая скорость потока, м/с [Blurring flow speed, m/s]	Средняя высота выступов шероховатости, мм [Average height of the roughness protrusions, mm]
		$M \pm m_M$	$M \pm m_M$
Серо-коричневая (целина) [Grey Cinnamonic (virgin soils)]	20	0,0710±0,102	0,40±0,75
Новоорошаемые серо-коричневые (20–25 лет) [Newly irrigated Grey Cinnamonic (20-25 years old)]	26	0,0485±0,098	±0,083
Орошаемые серо-коричневые, (около 100 лет) [Irrigated Grey Cinnamonic (about 100 years old)]	25	0,0540±0,116	0,25±0,91
Давноорошаемые серо-коричневые (ирригационно-аккумулятивные) (более 300 лет) [For a long time-irrigated Grey Cinnamonic (over 300 years old)]	31	0,0495±0,079	0,27±0,074

Из орошаемых серо-коричневых почв наибольшей размывающей скоростью потока отличается орошаемый вариант (0,054 м/с), а наименьшей – новоорошаемый (0,04–0,05 м/с). Однако по классификации орошаемых почв Азербайджана противозерозионной стойкости по пятибалльной шкале орошаемый и давноорошаемый (ирригационно-аккумулятивный) варианты оцениваются как средние.

Шероховатость отражает состояние поверхности почвы и позволяет оценить потенциальные потери почв от водной эрозии. Анализ полученных данных по шероховатости поверхности орошаемых серо-коричневых почв (табл. 7), показывает, что по среднестатистическим значениям наибольшая средняя высота выступов шероховатости отмечена в давноорошаемом (ирригационно-аккумулятивном) варианте (0,27 мм), затем следует орошаемый вариант (0,25 мм), а наименьшая – в новоорошаемом варианте (0,19 мм). Выявлено, что наименьшая размывающая скорость потока и средняя высота выступов шероховатости отмечаются в давноорошаемом (ирригационно-аккумулятивном) варианте. Как видно из табл. 7, по мере увеличения интенсивности развития эрозионных процессов при поливе и давности орошения противозерозионная стойкость орошаемых почв уменьшается.

### Выводы

1. Эрозия серо-коричневых почв (по классификации СССР – Grey-cinnamonic soils /Luvisc Calcicoils/ Luvi-Calcic Kastanozems, Азербайджана – Grey Cinnamonic, WRB (2014) – Haplic Kastanozems/ Haplic Calcisols) в сухой субтропической зоне Азербайджана имеет значительное распространение, и орошение оказало значительное влияние на процессы и свойства данных почв.

2. Выявлено, что вследствие уменьшения содержания гумуса (2,21%) водопроходная структура (35,83%) новоорошаемых почв имела низкую противозерозионную стойкость (0,048–0,049 м/с), чем целинные, орошаемые и давноорошаемые (ирригационно-аккумулятивные).

Отмечено уменьшение величины средневзвешенного диаметра водопроходных агрегатов от целинных (0,6–0,74 мм) к давноорошаемым (ирригационно-аккумулятивным) (0,31 мм) и новоорошаемым почвам (0,27 мм).

3. Установлено, что из орошаемых почв наибольшей размывающей скоростью потока (0,054 м/с) при среднестатистическом значении по высоте выступов шероховатости 0,25 мм отличался орошаемый вариант. Но по классификации орошаемых почв Азербайджана значение противозерозионной стойкости по пятибалльной шкале оценивается как среднее.

4. Серо-коричневые почвы в зависимости от давности орошения можно расположить в ряд в порядке снижения противозерозионной стойкости: целина → орошаемые (около 100 лет) → давноорошаемые (более 300 лет) → новоорошаемые (20–25 лет). Проведенная статистическая обработка полученных данных подтверждает их достоверность.

5. На основании полученных результатов определено место серо-коричневых почв в зависимости от давности орошения в системе международной классификации WRB (2014):

– целина, насыщенная глеевая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва (Virgin soils, Saturated gley calcareous heavy loamy – Duric Gleyic Calcic Kastanozems (Loamic));

– новооршаемые серо-коричневые (20–25 лет), мощная новая орошаемая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва (Newly irrigated Grey Cinnamonic (20-25 years old), Powerful new irrigated calcareous heavy loamy Grey Cinnamonic-Someric Calcic Kastanozems (Loamic));

– орошаемая серо-коричневая почва (около 100 лет), мощная окультуренная орошаемая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва (Irrigated Grey Cinnamonic (about 100 years old), Powerful cultivated irrigated calcareous heavy loamy-Someric Kastanozems (Anthric, Loamic));

– давнооршаемые серо-коричневые (иригационно-аккумулятивные) (более 300 лет), мощная глеевая окультуренная давно орошаемая карбонатная тяжело-суглинистая серо-коричневая почва (For a long time-irrigated Grey Cinnamonic (over 300 years old), Powerful gley cultivated for a long time irrigated calcareous heavy loamy Grey Cinnamonic-Gleyic Petrocalcic Kastanozems (Anthric, Loamic)).

#### Литература

1. Gurbanov E.A. Soil degradation due to erosion under furrow irrigation // Journal Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43 (12). PP. 1387–1393.
2. Baliuk S., Naydyonova O. Biological degradation of chernozems under irrigation // Eurasian Journal of Soil Science. 2014. Vol. 3. PP. 267–273.
3. Дымов А.А., Жангуров Е.В., Страцев В.В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507–516. doi: [10.7868/S0032180X1305002X](https://doi.org/10.7868/S0032180X1305002X)
4. Васильченко Н.И., Звягин Г.А. Проявление агрогенной трансформации в почвах сухостепной зоны Республики Казахстан // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2015. № 1 (29). С. 6–15. doi: [10.17223/19988591/29/1](https://doi.org/10.17223/19988591/29/1)
5. Иванов М.М., Краснов С.Ф., Беляев В.Р., Сафаров Х.Н. Оценка скорости плоскостного смыва на малом водосборе в предгорной зоне Каратегинского хребта (Центральный Таджикистан) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. № 3. С. 64–71.
6. Мирзакеев Э.К., Сапаров А.С., Шарыпова Т.М., Айтбаев Т.Е. Проявление иригационной эрозии на темно-каштановых почвах Северного Тянь-Шаня // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 3. С. 87–92.
7. Defersha M., Quraishi S, Melesse A. Interrill erosion, runoff and sediment size distribution as affected by slope steepness antecedent moisture content // Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 2010. № 7. PP. 6447–6489.
8. Афанасьев Н.И., Юхновец А.В. Коэффициенты устойчивости почв Беларуси к водной эрозии // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 2 (45). С. 49–54.
9. Кузнецов М.С. Изменение противозерозионной стойкости светлокаштановых почв Ергеней после предварительного увлажнения и промораживания // Вестник Московского университета. Серия «Биология, почвоведение». 1969. № 1. С. 70–79.

10. Damodhara R., Mailapalli N. S., Raghuvanshi R. Sediment transport in furrow irrigation // *Irrigation Science*. 2009. № 27 (6). PP. 449–456. DOI: [10.1007/s00271-009-0160-5](https://doi.org/10.1007/s00271-009-0160-5)
11. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Гурбанов Э.А. Влияние промежуточных посевов кормовых культур на гранулометрический и микроагрегатный состав генетически различных почв сухой субтропической зоны Азербайджана // *Агрохимия*. 2020. № 3. С. 11–13.
12. Геннадиев А.Н., Жедкин А.П. Типизация склоновых сопряжений почв по количественным проявлениям смыва-намыва вещества // *Почвоведение*. 2012. № 1. С. 21–31.
13. Кузнецов М.С. Противоэрозионная стойкость почв. М. : МГУ, 1981. 135 с.
14. Babaev M.P., Gurbanov E.A., Ramazanova F.M. Main types of soil degradation in the Kura-Aras Lowland of Azerbaijan // *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48, № 4. PP. 445–456.
15. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М., Наджафова С.И., Гурбанов Э.А. Почвы Азербайджанской Республики (Орошаемые почвы Кура-Араксинской низменности и их производительная способность). М. : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 275 с.
16. Бабаев М.П., Гурбанов Э.А. Противоэрозионная стойкость орошаемых почв Азербайджанской Республики // *Почвоведение*. 2010. № 12. С. 1501–1507.
17. Красильников П.В. Почвенная номенклатура и корреляция. Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 1999. 453 с.
18. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
19. Полевой определитель почв России. М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
20. Бабаев М.П., Исмаилов А.И., Гусейнова С.М. Интеграция национальной классификации почв Азербайджана в международную систему. Баку : Элм, 2017. 272 с.
21. IUSS Working Group WRB. World Reference Base of Soil Resources 2014, update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome : FAO, 2015. 192 p.
22. Салаев М.Э., Бабаев М.П., Джафарова Ч.М., Гасанов В.Г. Морфогенетические профили почв Азербайджана. Баку : Элм, 2004. 202 с.
23. Каллас Е.В., Танзыбаев М.Г. Методы изучения эрозии почв : методические указания. Томск : Томский государственный университет, 2001. 40 с.
24. FAO. Guidelines for soil description. 4<sup>th</sup> ed. Rome, 2006. 97 p.
25. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 476 с.
26. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М. : Агропромиздат, 1986. 416 с.
27. Григорьев В.Я., Маккаев Н.Н. Выбор коэффициента шероховатости при расчете склонового стока // *Вестник МГУ. Серия 5. География*. 1979. № 4. С. 68–71.
28. Казеев К.Ш., Колесников С.М., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д : Ростовский университет, 2003. 204 с.
29. Доспехов В.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
30. Drewry J.J., Carrick S., Penny V., Houlbrooke D.J., Laurenson S., Mesman N.L.. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review // *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2021. Vol. 64, Iss. 4. PP. 483–507. doi: [10.1080/00288233.2020.1742745](https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1742745)
31. Овчинникова М.Ф. Влияние водной эрозии на химические свойства и гумусное состояние пахотной дерново-подзолистой почвы на двучленных отложениях // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2003. № 1. С. 36–41.

32. Смоленцев Б.А., Смоленцева Е.Н. Буроземы Кузнецкого Алатау, их свойства и разнообразие // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 50. С. 6–27. doi: [10.17223/19988591/50/1](https://doi.org/10.17223/19988591/50/1)
33. Vormstein S., Kaiser M., Piepho H., Joergensen R.G., Ludwig B. Effects of fine root characteristics of beech on carbon turnover in the topsoil and subsoil of a sandy Cambisol // European Journal of Soil Science. 2017. No 68. PP. 177–188. doi: [10.1111/ejss.12410](https://doi.org/10.1111/ejss.12410)
34. Paterson E., Sim A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon // Global Change Biology. 2013. Vol. 19, № 5. PP. 1562–1571.
35. Шепелев А.Г., Самохвалова Л.М. Взаимосвязи дыхания чернозема с составом органического вещества почвы в условиях центральной лесостепи Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2017. № 37. С. 6–16. doi: [10.17223/19988591/37/1](https://doi.org/10.17223/19988591/37/1)
36. Ramazanova F.M. The influence of long-term agricultural use of soils of the dry subtropical zone of Azerbaijan on its morphological and agrochemical properties // Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources. Publishers : Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering “Industry-4.0” Buglarina Association of Agricultural Machinery. Bolqaristan. 2020. Vol. 66. Iss. 5. PP. 169–172. URL: <http://www.stumejournals.com/>
37. Окорков В.В. Гранулометрический состав почв и его роль в устойчивости к водной эрозии // Владимирский земледеец. 2010. № 3 (53). С. 17–19.
38. Григорьев В.Я. Размывающие скорости водного потока для почв светло-каштанового комплекса // Почвоведение. 1974. № 9. С. 97–103.
39. Кулижский С.П., Блохин А.Н. Использование данных о физико-химических свойствах почв Сибири при оценке устойчивости к внешним воздействиям // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 3 (7). С. 95–102.
40. Ganieva S., Dyunyamalievaa N., Ramazanova F. Grazing effect on soil properties in dry subtropic steppes of Azerbaijan // Arid Ecosystems. 2019. Vol. 9, № 3. PP. 174–178. doi: [10.1134/S2079096119030028](https://doi.org/10.1134/S2079096119030028)
41. Ларионов Г.А., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф., Горобец А.В., Судницын И.И. Влияние плотности почвы, сопротивления разрыву и инфильтрации воды на скорость разрушения межагрегатных связей // Почвоведение. 2017. Т. 50, № 3. С. 354–359.
42. Кирюхина З.П., Пацукевич З.В. Эрозионная деградация почвенного покрова России // Почвоведение. 2004. № 6. С. 752–758.
43. Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв Нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия // Почвоведение. 2009. № 2. С. 152–162.
44. Ramazanova F.M. Influence of the intermediate sowings of fodder crops on the agrophysical indicators of the irrigated soils in Azerbaijan dry subtropics // Russian Agricultural Sciences. 2017. Vol. 43, № 5. PP. 410–413.
45. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. Vol. 528. PP. 60–68.
46. Алексеева Т.В., Соколовская З., Хайнос М., Алексеев А., Калинин П. Водопрочность агрегатов почв субтропиков и тропиков (Грузия и Китай): связь с минералогическим составом и химическими свойствами // Почвоведение. 2009. № 4. С. 452–462.

*Поступила в редакцию 31.07.2021 г.; повторно 02.10.2021 г.;  
принята 17.12.2021 г.; опубликована 29.12.2021 г.*

**Авторский коллектив:**

**Гурбанов Эльдар Агасалам оглы**, д-р с.-х. наук, доцент кафедры геоматики, Азербайджанский государственный архитектурно-строительный университет (Азербайджан, 1073, г. Баку, ул. Айна Султанова, 11).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1448-6788>

E-mail: [eldar\\_qurbanov-54@mail.ru](mailto:eldar_qurbanov-54@mail.ru)

**Рамазанова Фироза Мухуровна**, канд. с.-х. наук, доцент, в.н.с. лаборатории генезиса, географии и картографии почв, Институт почвоведения и агрохимии Национальной Академии Наук Азербайджана (Азербайджан, 1073, г. Баку, ул. М. Рагима, 5).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0556-4799>

E-mail: [firoza.ramazanova@rambler.ru](mailto:firoza.ramazanova@rambler.ru)

**Гусейнова Султан Магеррам кызы**, канд. с.-х. наук, доцент, в.н.с. лаборатории генезиса, географии и картографии почв, Институт почвоведения и агрохимии Национальной Академии Наук Азербайджана (Азербайджан, 1073, г. Баку, ул. М. Рагима, 5).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7991-3616>

E-mail: [sultanhuseynova@rambler.ru](mailto:sultanhuseynova@rambler.ru)

**Гурбанова Зумруд Рамазан кызы**, доцент, канд. техн. наук, кафедра химии и технологии неорганических веществ, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Азербайджан, 1010, г. Баку, пр. Азадлыг, 20 (34)).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7333-5843>

E-mail: [zumrud.qurbanova@bk.ru](mailto:zumrud.qurbanova@bk.ru)

**For citation:** Gurbanov EA, Ramazanova FM, Huseynova SM, Gurbanova ZR. Changes in anti-erosion resistance of irrigated grey Cinnomonic soils of the dry subtropical zone of Azerbaijan depending on the age of irrigation. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;56:33-59. doi: 10.17223/19988591/56/2

**Eldar A. Gurbanov<sup>1</sup>, Firoza M. Ramazanova<sup>2</sup>,  
Sultan M. Huseynova<sup>3</sup>, Zumrud R. Gurbanova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Azerbaijan State University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

<sup>2,3</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

<sup>4</sup>Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

### **Changes in anti-erosion resistance of irrigated grey Cinnomonic soils of the dry subtropical zone of Azerbaijan depending on the age of irrigation**

The dry subtropical zone of Azerbaijan is located in an erosion-hazardous zone, and irrigation erosion manifests itself on an area of more than 255 thousand hectares. The damage caused by irrigation erosion to the agriculture of the republic is manifested not only in the destruction of the soil structure, but also in the removal of nutrients from the soil. At the same time, the patterns of change in the anti-erosion resistance of grey Cinnomonic soils /Luvic Calcisols /Luvic-Calcic Kastanozems (according to the classification of the USSR), grey Cinnomonic soils (according to the classification of Azerbaijan), (on WRB (2014)-Haplic Kastanozems / Haplic Calcisols) in the dry subtropical zone of Azerbaijan, depending on the age of irrigation, are diverse and not fully studied. Therefore, conducting research in this direction and assessing the anti-erosion resistance of grey Cinnomonic soils is relevant for Azerbaijan.

The aim of this research is to study the changing of the anti-erosion resistance of irrigated grey Cinnomonic soils in the foothill and plain areas of the dry subtropical zone of the republic, depending on the age of irrigation. Based on the results obtained, the place of grey Cinnomonic soils in the international classification system WRB (2014) was determined. The research was carried out on grey Cinnomonic soils of heavy loamy and light clayey granulometric composition of the foothills and plains

of the dry subtropical zone of different irrigation periods, in the territories: Grey Cinnamonic (virgin soils) – Beylagan (39°46'02.2"N, 47°36'13.3"E) and Yevlakh region (40°60'67.75"N, 47°17'02.71"E); Newly Irrigated Grey Cinnamonic (20-25 years old) – Agdash region (40°63'24.62"N, 47°49'11.92"E) and Geokchay region (40°37'10.5"N, 47°44'29.5"E); Irrigated Grey Cinnamonic (about 100 years old) – Bilasuvar (39°48'36.49"N, 48°43'35.24"E), Yevlakh (40°44'34.18"N, 46°96'51.13"E), kshu (40°55'39.53"N, 48°35'04.18"E), and Aghstafa region (41°06'11.17"N, 45°28'07.32"E); For a Long Time-Irrigated Grey Cinnamonic (about 300 years old) – Bilasuvar (39°44'25.56"N, 48°42'52.72"E) and Beylagan region (39°76'45.13"N, 47°59'13.50"E).

The research methods are comparative-geographical (geographical patterns of distribution of these soils according to the granulometric composition and humus content of the arable horizon) and comparative-analytical. On the plots, soil sections were laid, a morphological description was carried out, soil samples were taken from the genetic horizons (*Field guide of soils in Russia* (2008), *FAO. Guidelines for soil description* (2006), *IUSS Working Group WRB. World Reference Base of Soil Resources* 2014, update 2015, Kallas and Tanzybayev (2001)). The anti-erosion resistance of soils was determined by the bottom erosion flow rate-according to Kuznetsov MS. (1981), the water resistance of the aggregates – by methods of dry and “wet” aggregate analysis according to Savvinov, the specific gravity of the solid phase – by the pycnometric method, the granulometric composition – by the pipette method, soil density – with a drill according to the generally accepted method (Arinushkina, 1970; Vadyunina and Korchagina, 1986). The value of the protrusions of soil roughness was determined by the ratio  $\Delta = 0.7 \bar{d}_w$ , where  $\bar{d}_w$  is the weighted average diameter of the water-resistant aggregates. The value  $\bar{d}_w$  was calculated based on the results of the structural analysis of the soil by the Savvinov method at the initial moisture content  $W$  (Grigoryev and Makkaveev, 1979), the content of total humus – according to Tyurin, modified by Nikitin, cellulolytic activity – by application method for the decomposition of cotton canvases (Kazeev, Kolesnikov and Valkov, 2003).

Depending on the age of irrigation, we revealed changes in the morphological profile of soil and qualitative indicators of physical-chemical properties of grey Cinnamonic soils during cultivation. In newly irrigated grey Cinnamonic soils, the cultivated layer (25-30 cm thick) is not fully formed, new arable (A1-22-27 cm) and subsurface horizons (A2-15-16 cm) have been formed and are somewhat compacted, the structure is deteriorated, the level of carbonate and gypsum horizons is lowered. The profile of irrigated soils differs sharply from virgin and newly irrigated soils, has a clear colour differentiation; a cultivated layer is formed (thickness - 52-56 cm), the arable horizon is A1-25-28 cm, subsoil - A2-24-26 cm, the illuvial-carbonate horizon is poorly expressed, down to 96-101 cm. Long time-irrigated (irrigation-accumulative) soils under the influence of long-term irrigation with turbid waters and constant cultivation have lost the signs of zonal primary soils and acquired a special type of soil profile – a monotonous grayish-brownish colour, uniformity of profile and composition, a fully formed cultivated layer with a thickness of 65-70 cm; buried horizons are found at a depth of 61-83 cm. A distinctive feature of the irrigated and irrigation-accumulative (long-irrigated) variants of grey Cinnamonic soils – an increase in the microaggregates content, a high content of physical clay (60.8-64.3%), which, when compared with the non-flush type of water regime (virgin), causes not very high humus content of the upper (0-25 and 25-50 cm of soil) horizons (2.29 and 1.78% humus), their weak resistance to the destructive action of water (*See Tables 2 and 3*). The content of water-resistant aggregates >0.25 mm in layers (0.25 cm) of the soil in comparison with virgin (54.08%) decreases to 35.83% in newly irrigated, in irrigated - to 38.23 % and in irrigation-accumulative (long-irrigated) - up to 40.40% (*See Table 4*); the highest values

of the coefficient of variation of density ( $CV = 13.54$ ), with a standard deviation ( $SD = 0.161$ ) are observed in newly irrigated soils (See Table 5).

A high bottom erosive flow rate was noted in virgin soils is 0.070-0.072 m/s, somewhat less - in irrigated (0.050–0.063 m/s), in long-irrigated (irrigation-accumulative) (0.048–0.050 m/s) and in newly irrigated soils - 0.048-0.049 m/s (See Table 6). The highest value of porosity, with a solid phase density of 2.65-2.67 g/cm<sup>3</sup>, is noted on non-irrigated (virgin) soils (49-55%), in long-irrigated (irrigation-accumulative) soils, it decreases to 47-49%, and on irrigated at a solid phase density of 2.66-2.77 g/cm<sup>3</sup> corresponded within the permissible values (51-52%) (See Table 6). The values of the weighted average diameter of water-resistant aggregates decreased from virgin to newly irrigated and to long-irrigated (irrigation-accumulative) soils (from 0.67-0.74 mm to 0.27-0.31 mm) (See Fig. 1). The highest value of the ratio of anti-erosion resistance to erosion flow velocity was observed for virgin grey Cinnamonic soils (0,0710±0,102 m/s). The maximum average height of roughness protrusions was noted in long-irrigated (irrigation-accumulative) soils (0.27 mm), then irrigated (0.25 mm), and the smallest - in newly irrigated (0.19 mm) soils (See Table 7).

We revealed that depending on the age of their irrigation, the anti-erosion resistance of grey Cinnamonic soils, as the bottom erosion flow rate and anti-erosion resistance decrease, can be arranged in the following row: virgin soils → irrigated → long-irrigated → newly irrigated.

Based on the results obtained, we determined the place of grey Cinnamonic soils in the international classification system WRB (2014): Virgin soils - Saturated gley calcareous heavy loamy - Duric Gleyic Calcic Kastanozems (Loamic); Newly irrigated Grey Cinnamonic (20-25 years old) - Powerful new irrigated calcareous heavy loamy Grey Cinnamonic - Someric Calcic Kastanozems (Loamic); Irrigated Grey Cinnamonic (about 100 years old) - Powerful cultivated irrigated calcareous heavy loamy - Someric Kastanozems (Anthic, Loamic); For a long time-irrigated Grey Cinnamonic (over 300 years old) - Powerful gley cultivated for a long time irrigated calcareous heavy loamy Grey Cinnamonic - Gleyic Petrocalcic Kastanozems (Anthic, Loamic).

*The paper contains 1 Figures, 7 Tables, and 46 References.*

**Key words:** Grey Cinnamonic soils/Luvic Calcisols/ Luvic-Calcic Kastanozems (according to the classification of the USSR), grey Cinnamonic soils (according to the classification of Azerbaijan), (on WRB (2014)-Haplic Kastanozems / Haplic Calcisols); the age of irrigation, irrigation erosion, humus; water-resistant aggregates; erosion resistance, Duric Gleyic Calcic Kastanozems (Loamic), Someric Kastanozems (Anthic, Loamic), Gleyic Petrocalcic Kastanozems (Anthic, Loamic).

**Funding:** This work was supported by the government assignment of the Institute of Soil Science and Agrochemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences; Azerbaijan State University of Architecture and Construction; Azerbaijan State University of Oil and Industry.

*The Authors declare no conflict of interest.*

### References

1. Gurbanov EA. Soil degradation due to erosion under furrow irrigation. *Eurasian Soil Science*. 2010;43(12):1387-1393. doi: [10.1134/S1064229310120094](https://doi.org/10.1134/S1064229310120094)
2. Naydyonova O, Baliuk S. Biological degradation of chernozems under irrigation. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2014;3:267-273. doi: [10.18393/ejss.87170](https://doi.org/10.18393/ejss.87170)
3. Dymov AA, Zhangurov EV, Startsev VV. Soils of the northern part of the Subpolar Urals: Morphology, physicochemical properties, and carbon and nitrogen pools. *Eurasian Soil Science*. 2013;46(5):459-467. doi: [10.1134/S1064229313050025](https://doi.org/10.1134/S1064229313050025)

4. Vasil'chenko NI, Zvyagin GA. Agrogenic transformation of soils in the dry steppe zone of the Republic of Kazakhstan. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2015;1(29):66-15. doi: [10.17223/19988591/29/1](https://doi.org/10.17223/19988591/29/1) In Russian, English Summary
5. Ivanov MM, Krasnov SF, Belyayev VR, Safarov KHN. Evaluation of sheet erosion rates within a small catchment area in the Karateginsky ridge piedmont area (Central Tadjikistan). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia = Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*. 2014;3:64-71. In Russian
6. Mirzakeyev EK, Saparov AS, Sharypova TM, Aytbayev TE. Proyavleniye irrigatsionnoy erozii na temno-kashtanovykh pochvakh Severnogo Tyan'-Shanya [Manifestation of irrigation erosion on dark chestnut soils of the Northern Tien Shan]. *Soil Science and Agrochemistry*. 2011;3:87-92. In Russian
7. Defersha M, Quraishi S, Melesse A. Interrill erosion, runoff and sediment size distribution as affected by slope steepness an antecedent moisture content. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*. 2010;7:6447-6489. doi: 10.5194/hessd-7-6447-2010
8. Afanas'yev NI, Yukhnovets AV. Coefficients of resistance of sod-podzolic soils of Belarus to erosion. *Pochvovedenie i agrokimiya*. 2010;2(45):49-54. In Russian
9. Kuznetsov MS. Izmeneniye protiverozionnoy stoykosti svetlokashtanovykh pochv Yergenev posle predvaritel'nogo uvlazhneniya i promorazhivaniya [Change in anti-erosion resistance of light chestnut soils of Ergeni after preliminary moistening and freezing]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya. Biologiya, Pochvovedenie = Moscow State University Bulletin. Biology, Soil science*. 1969;1:70-79. In Russian
10. Damodhara R, Mailapalli NS, Raghuvanshi R. Sediment transport in furrow irrigation. *Irrigation Science*. 2009;27(6):449-456. doi: 10.1007/s00271-009-0160-5
11. Babayev MP, Ramazanova FM, Gurbanov EA. Influence of the intermediate sowings of fodder crops on granulometric and microaggregate composition genetically different soils in the arid subtropical zone of Azerbaijan. *Agrochimia*. 2020;3:11-13. doi: [10.31857/S0002188120030035](https://doi.org/10.31857/S0002188120030035) In Russian
12. Gennadiyev, A.N., Zhidkin, A.P. Typification of soil catenas on slopes from the quantitative manifestations of the accumulation and loss of soil material. *Eurasian Soil Sc*. 2012;45:12-21 doi: 10.1134/S1064229312010036
13. Kuznetsov MS. Protivoerozionnaya stoykost' pochv [Anti-erosion resistance of soils]. Moscow: MGU Publ.; 1981. 135 p. In Russian
14. Babaev MP, Gurbanov EA, Ramazanova FM. Main types of soil degradation in the Kura-Aras Lowland of Azerbaijan. *Eurasian Soil Science*. 2015;48(4):445-456. doi: [10.1134/S106422931504002X](https://doi.org/10.1134/S106422931504002X)
15. Babayev MP, Ramazanova FM, Nadzhafova SI, Gurbanov EA. Pochvy Azerbaydzhanskoj Respubliki (Oroshayem'yye pochvy Kura-Araksinskoy nizmennosti i ikh proizvoditel'naya sposobnost') [Soils of the Azerbaijan Republic (Irrigated soils of the Kura-Araks lowland and their productive capacity)]. Moscow: LAP LAMBERT Academic Publ.; 2019. 275 p. In Russian
16. Babayev MP, Gurbanov EA. Protivoerozionnaya stoykost' oroshayemykh pochv Azerbaydzhanskoj Respubliki Erosion resistance of irrigated soils in the republic of Azerbaijan. *Eurasian Soil Sc*. 2010;12:1394-1400. [10.1134/S1064229310120100](https://doi.org/10.1134/S1064229310120100)
17. Krasil'nikov PV. Pochvennaya nomenklatura i korrelyatsiya [Soil Terminology and Correlation]. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ.; 1999. 453 p. In Russian
18. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Russian Soil Classification System]. Smolensk: Oikumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian
19. *Polevoy opredelitel' pochv Rossii* [Field guide of soils of Russia]. Moscow: Soil Institute named VV. Dokuchaev; 2008. 182 p. In Russian

20. Babayev MP, Ismailov AI, Guseynova SM. Integratsiya natsional'noy klassifikatsii pochv Azerbaydzhana v mezhdunarodnuyu sistemu [Integration of the national soil classification of Azerbaijan into the international popular system]. Baku: EIM Publ.; 2017. 272 p. In Azerbaijan
21. *IUSS Working Group WRB*. World Reference Base of Soil Resources 2014, update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No.106. Rome: FAO; 2015.192 p.
22. Salayev ME, Babayev MP, Dzhafarova CHM, Gasanov VG. Morfogeneticheskiye profili pochv Azerbaydzhana [Morphogenetic profiles of soils of Azerbaijan]. Baku: EIM Publ.; 2004. 202 p. In Russian
23. Kallas YEV, Tanzybayev MG. Metody izucheniya erozii pochv. Metodicheskiye ukazaniya [Methods for studying soil erosion. Methodical instructions]. Tomsk: Ministry of Education of the Russian Federation Tomsk State Publ.; 2001. 40 p. In Russian
24. *FAO. Guidelines for soil description*. 4<sup>th</sup> edition. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2006. 109 p.
25. Arinushkina YEV. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv [Guide to soil chemical analysis]. Moscow: MGU Publ.; 1970. 476 p. In Russian
26. Vadyunina AF, Korchagina ZA. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1986. 416 p. In Russian
27. Grigor'yev VYA, Makkaveyev NN. Vybore koefitsiyenta sherokhovatosti pri raschete sklonovogo stoka [The choice of the roughness coefficient when calculating slope runoff]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 1979;4:68-71. In Russian
28. Kazeyev KSH., Kolesnikov SM., Val'kov VF. Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Biological diagnostics and indication of soils: methodology and research methods]. Rostov-on-Don: Rostov University Publ.; 2003. 204 p. In Russian
29. Dospikhov VA. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agroindustrial Publ.; 1985. 351 p. In Russian
30. Drewry JJ, Carrick S, Penny V, Houlbrooke DJ, Laurenson S, Mesman NL. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 2021;64(4):483-507. doi: [10.1080/00288233.2020.1742745](https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1742745)
31. Ovchinnikova MF. Vliyaniye vodnoy erozii na khimicheskiye svoystva i gumusnoye sostoyaniye pakhotnoy dernovo-podzolistoy pochvy na dvuchlennykh otlozheniyakh [Influence of water erosion on the chemical properties and humus state of arable sod-podzolic soil on two-member sediments]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie = Moscow University Soil Science Bulletin*. 2003;1:36-41. In Russian
32. Smolentsev BA, Smolentseva YEN. Cambisols of the Kuznetsk Alatau, their properties and diversity. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2020;50:6-27. doi: [10.17223/19988591/50/1](https://doi.org/10.17223/19988591/50/1) In Russian, English Summary
33. Vormstein S, Kaiser M, Piepho H, Joergensen RG, Ludwig B. Effects of fine root characteristics of beech on carbon turnover in the topsoil and subsoil of a sandy Cambisol. *European Journal of Soil Science*. 2017;68:177-188. doi: [10.1111/ejss.12410](https://doi.org/10.1111/ejss.12410)
34. Paterson E, Sim A. Soil-specific response functions of organic matter mineralization to the availability of labile carbon. *Global Change Biology*. 2013;19(5):1562-1571. doi: [10.1111/gcb.12140](https://doi.org/10.1111/gcb.12140)

35. Shepelev AG, Samokhvalova LM. Relationship between chernozem respiration and soil organic matter composition in the central forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;37:6-16. doi: [10.17223/19988591/37/1](https://doi.org/10.17223/19988591/37/1) In Russian, English Summary
36. Ramazanova FM. The influence of long-term agricultural use of soils of the dry subtropical zone of Azerbaijan on its morphological and agrochemical properties. In: *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. Publishers: Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering "Industry-4.0" Buglarina Assotiation of Agricultural Machinery. Bolqaristan. 2020;66 (5):169-172. URL: <http://www.stumejournals.com/>
37. Okorkov VV. Granulometricheskii sostav pochv i yego rol' v ustoychivosti k vodnoy erozii [Granulometric composition of soils and its role in resistance to water erosion]. *Vladimirskiy zemledelets = Vladimir agriculturist*. 2010;3(53):17-19. In Russian
38. Grigor'yev VYA. Razmyvayushchiye skorosti vodnogo potoka dlya pochv svetlo-kashtanovogo kompleksa [Erosion rates of water flow for soils of the light chestnut complex]. *Pochvovedenie*. 1974;9:97-103. In Russian
39. Kulizhskiy SP, Blokhin AN. Physico-mechanical properties of soils on the example of thehumus-accumulative soil horizons south of Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2009;3(7):95-102. In Russian
40. Ganieva S, Dyunyamalievaa N, Ramazanova F. Grazing effect on soil properties in dry subtropic steppesof Azerbaijan. *Arid Ecosystems*. 2019;9(3):174-178. doi: [10.1134/S2079096119030028](https://doi.org/10.1134/S2079096119030028)
41. Larionov GA, Dobrovol'skaya NG, Kiryukhina ZP, Krasnov SF, Litvin LF, Gorobets AV, Sudnitsyn II. Effect of soil density, tensile strength, and water infiltration on the rupture rate of interaggregate bonds. *Eurasian Soil Science*. 2017;50(3):335-340. doi: [10.1134/S1064229317010094](https://doi.org/10.1134/S1064229317010094)
42. Kiryukhina ZP, Patsukevich ZV. Erosion-induced degradation of the soil cover in Russia. *Eurasian Soil Science*. 2004;37(6):653-658. doi: [10.1134/S1064229315010056](https://doi.org/10.1134/S1064229315010056)
43. Kuznetsova IV, Utkayeva VF, Bondarev AG. Assessment of changes in the physical properties of plowed loamy soddy-podzolic soils in the nonchernozemic zone of European Russia under the impact of anthropogenic loads. *Eurasian Soil Science*. 2009;42(2):137-146. doi: [10.1134/S1064229309020045](https://doi.org/10.1134/S1064229309020045)
44. Ramazanova FM. Influence of the intermediate sowings of fodder crops on the agrofysical indicators of the irrigated soils in Azerbaijan dry subtropics. *Russian Agricultural Sciences*. 2017;43(5):410-413. doi: [10.3103/S1068367417050147](https://doi.org/10.3103/S1068367417050147)
45. Lehmann J, Kleber M. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*. 2015;528:60-68. doi: [10.1038/nature16069](https://doi.org/10.1038/nature16069)
46. Alekseyeva TV, Sokolovska Z, Khaynos M, Alekseyev A, Kalinin P. Water stability of aggregates in subtropical and tropical soils (Georgia and China) and its relationships with the mineralogy and chemical properties. *Eurasian Soil Science*. 2009;42(4):415-425

*Received 31 July, 2021; Revised 02 October, 2021;  
Accepted 17 December, 2021; Published 29 December, 2021.*

**Author info:**

**Gurbanov Eldar Agasalam oglu**, Dr. Sci. (Agric.), Assos. Professor, Department of Geomatics, Azerbaijan State University of Architecture and Construction, 11 Ayna Sultanova Str., Baku 1073, Azerbaijan. ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1448-6788>  
E-mail: [eldar\\_qurbanov-54@mail.ru](mailto:eldar_qurbanov-54@mail.ru)

**Ramazanova Firoza Muhurovna**, Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Professor, Leading Researcher, Laboratory of Soil Genesis, Geography and Mapping, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences, 5 M. Rahima Str., Baku 1073, Azerbaijan.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0556-4799>

E-mail: [firoza.ramzanova@rambler.ru](mailto:firoza.ramzanova@rambler.ru)

**Huseynova Sultan Maharram kızı**, Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Professor, Leading Researcher, Laboratory of Soil Genesis, Geography and Mapping, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences, 5 M. Rahima Str., Baku 1073, Azerbaijan.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7991-3616>

E-mail: [sultanhuseynova@rambler.ru](mailto:sultanhuseynova@rambler.ru)

**Gurbanova Zumurud Ramazan kızı**, Cand. Sci. (Engin.), Assoc. Professor, Department of Chemistry and Technology of Inorganic Substances, Azerbaijan State University of Oil and Industry, 20 (34) Azadlig Ave., Baku 1010, Azerbaijan.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7333-5843>

E-mail: [zumrud.qurbanova@bk.ru](mailto:zumrud.qurbanova@bk.ru)