

**ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
В ОРОСИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

© 2021 г. Р.Р. Сулейманов**, Г.М. Гизатшина**, И.М. Габбасова*

*Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 450054, г. Уфа, ул. Проспект Октября, д. 69. E-mail: soils@mail.ru

**Башкирский государственный университет
Россия, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32. E-mail: gulnazgizatshina@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.11.2020. После доработки 29.11.2020. Принята к публикации 01.12.2020

В условиях проявления тенденции аридизации климата возникает необходимость проведения оросительной мелиорации в целях устойчивого получения высоких урожаев сельскохозяйственной продукции. В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства возникает угроза деградации почвенного покрова. В этом аспекте изучение ряда свойств почв, планируемых для использования в орошаемом земледелии, имеет большое значение для предотвращения угрозы их деградации. Почвенно-мелиоративное обследование агрочерноземов проводилось в пределах Предуральской южной лесостепной зоны (Стерлитамакский район, Республика Башкортостан). Результаты исследований показали, что почвенный покров изученного участка представлен черноземами типичными и выщелоченными. По своим водно-физическим, физико-химическим, агрохимическим и экологическим свойствам они близки между собой, характеризуются высокой устойчивостью к деградационным процессам и пригодны для использования в оросительной мелиорации.

Ключевые слова: агрочернозем, орошения, водно-физические, физико-химические, агрохимические, экологические свойства.

DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10153

В условиях изменения климата в районах с периодически повторяющимися засухами для получения устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур оросительная мелиорация является одним из способов решения проблемы, при этом являясь мощным экологическим фактором, оказывающим воздействие на весь комплекс свойств почв (Elgallal et al., 2016). Например, показано, что орошение может значительно увеличивать содержание питательных веществ (N, P, K) и микроэлементов, тем самым повышая плодородие почвы и урожайность сельскохозяйственных культур (Mendoza-Espinosa et al., 2008; Jahany, 2020). В качестве наиболее значимых показателей, отражающих качественное состояние почв, являются кислотность почв, электропроводность, содержание подвижного фосфора и органического вещества (Abd-Elwahed, 2019).

Тем не менее, долгосрочное стойкое орошение может привести к некоторым непреднамеренным изменениям качества почвы – развитию эрозии, засолению и осолонцеванию, загрязнению тяжелыми металлами (Wang et al., 2003). Негативное воздействие оросительной мелиорации влечет такие проблемы, как потеря урожайности сельскохозяйственных культур, снижение плодородия почв и продуктивности, а также повышенного уровня деградации (Rezpour et al., 2019)

В ряде исследований (Bedbabis et al., 2014) показано снижение pH почвы после орошения как в полевых, так и в тепличных условиях. Это привело к выщелачиванию питательных элементов, нитрификации аммония или поглощению ионов аммиака урожаем. Также в других исследованиях (Audin et al., 2015) наблюдается увеличение pH почвы при двукратном орошении, как следствие содержания высоких значений основных катионов в воде.

В связи с этим на участках, используемых в оросительной мелиорации, необходимо ведение мониторинга основных свойств почв (морфологических, водно-физических и агрохимических) в целях оценки их состояния и своевременного предотвращения развития процессов деградации, что и явилось целью наших исследований.

Объекты и методы исследования

Почвенно-мелиоративную оценку земель, находящихся в сельскохозяйственном использовании, проводили на участке, расположенном в Стерлитамакском районе Республики Башкортостан. Следует отметить, что данный участок уже использовался под оросительную мелиорацию в период с 1981 по 1992 гг., но в дальнейшем использование прекратили по экономическим причинам. Согласно физико-географическому районированию, участок расположен в Левобережном Прибельском округе Южно-лесостепной подзоны, а, в соответствии с агропочвенным районированием, относится к Чермасано-Ашкадарскому равнинному агропочвенному округу Предуральской степной зоны (Почвы ..., 1995). Климат континентальный, незначительно засушливый (Физико-географическое ..., 1964). Почвенный покров представлен черноземами, которые сформировались на водораздельном плато и пологих склонах северной, северо-западной, северо-восточной и частично юго-восточной экспозиции. Почвообразующими породами являются делювиально-карбонатные глины.

Первый этап, включающий в себя полевое обследование, проводился согласно методикам как оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов, так и почвенного картирования (Витковская, 2011; Апарин и др., 2012). Согласно этим методикам, почвенные разрезы закладывались по периметру и на самом опытном поле из расчета 1-2 разреза на 1 га, а также разрезы и прикопки на всех элементах мезорельефа. В общей сложности было заложено 16 полнопрофильных разрезов и 20 прикопок для определения границ между почвенными разностями.

После закладки разреза или прикопки проводилось описание морфологических признаков почвенного профиля, отбор почвенных образцов по генетическим горизонтам, а также определялась водопроницаемость почв с поверхности и с глубины 50 см методом цилиндров (Теории ..., 2007).

Соответственно, второй этап по мелиоративной оценке агрочерноземов включал в себя определение их физико-химических, агрохимических и водно-физических свойств. В образцах определялось содержание гумуса по Тюрину, подвижный фосфор и обменный калий по Чирикову, щелочно-гидролизующий азот по Корнфильду, рН водной суспензии – потенциметрически, обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексометрически, обменный Na^+ – вытеснением уксуснокислым аммонием по Антипову-Каратаеву, емкость катионного обмена (ЕКО) по Шаймухаметову, содержание микроэлементов по Крупскому-Александровой, водно-физические свойства – общепринятыми в почвоведении методами (Агрохимические ..., 1976; Аринушкина, 1970; Вадюнина, Корчагина, 1973; Теории ..., 2007).

Результаты и их обсуждение

Морфологические свойства почв. Проведенное полевое обследование показало, что почвенный покров опытного участка в целом однородный и представлен двумя подтипами черноземов – типичными и выщелоченными.

Около 70% исследуемого массива приходится на черноземы типичные, характеризующиеся наличием карбонатов в пределах гумусово-аккумулятивного горизонта или сразу же под ним, которые выделяются в виде мицелия или прожилок конкреций. Иллювиальные горизонты (В) всегда карбонатные. Морфологические особенности определяются наличием относительно мощного гумусового горизонта (горизонты А+АВ мощностью 76-89 см) темно-серой или почти черной окраски, пахотный слой которого характеризуется порошисто-комковатой, а подпахотный – зернистой структурой, которая ниже в горизонте АВ становится крупнозернистой. Сложение профиля довольно рыхлое. Для более полной характеристики морфологических свойств чернозема типичного приведем ниже описание разреза, заложенного на выровненном участке пашни.

$A_{\text{пах}}$ 0-28 см. Темно-серый, почти черный, влажный, порошисто-комковатый, тяжелосуглинистый, среднеуплотнен, много корней, переход по линии вспашки.

A_1 28-58 см. Темно-серый, влажный, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый, среднеуплотнен, переход постепенный.

АВ 58-89 см. Темно-бурый с серым оттенком, влажный, комковато-зернистый, тяжелосуглинистый, уплотнен, мицелий карбонатов в нижней части, вскипает с 84 см, переход заметный.

В 89-118 см. Бурый, неравномерно окрашенный с гумусовыми затеками по ходам корней, влажный, ореховато-призматический, тяжелосуглинистый, непрочный, карбонаты в виде псевдомицелия и размягченных белых пятен, кротовины, переход постепенный.

С 118-150 см. Желтовато-бурый, сырой, непрочный, крупно-ореховато-комковатый, глинистый, псевдомицелий, размягченные пятна карбонатов, вскипает бурно.

На остальных 30% площади распространены черноземы выщелоченные, характеризующие интенсивной серо-черной окраской гумусово-аккумулятивного горизонта, хорошо выраженной зернистой структурой его подпахотной части, появлением буроватого оттенка в переходном горизонте АВ и укрупнением его структуры до комковато-зернистой. Мощность гумусового горизонта (А+АВ) варьирует в диапазоне от 46 до 82 см. Иллювиальный горизонт в этих почвах свободен от карбонатов, заметно уплотнен, отмечаются темные глянцевые пленки по граням структурных отдельностей. Вскипание карбонатов появляется в переходном иллювиально-карбонатном горизонте, а чаще – в карбонатной материнской породе. Для более полной характеристики морфологических свойств чернозема выщелоченного приведем ниже описание разреза, заложенного на выровненном участке пашни.

А_{пах.} 0-28 см. Темно-серый, почти черный, сырой, непрочно-комковато-зернистый, рыхлый, тяжелосуглинистый, переход заметный по линии вспашки.

А₁ 28-60 см. Темно-серый, влажный, комковато-зернистый, более плотный, тяжелосуглинистый, переход заметный.

АВ 60-80 см. Темно-серый с буроватым оттенком, неравномерно прокрашенный, влажный, непрочно-комковато-зернистый, уплотнен, тяжелосуглинистый, переход заметный.

В 80-120 см. Коричневато-бурый, местами гумусовые потеки, влажный, комковато-ореховатый, темные глянцевые пленки по граням структурных отдельностей, плотный, переход постепенный.

С_к 120-150 см. Желто-бурый, сырой, плотный, вязкий, глинистый, карбонатная пропитка, вскипает бурно.

Физико-химические и агрохимические свойства почв. Анализ физико-химических свойств чернозема типичного показал, что верхние гумусово-аккумулятивные горизонты характеризуются нейтральной реакцией среды, которая с глубиной изменяется до слабощелочной (табл. 1). Почва насыщена основаниями, в составе которых преобладает кальций. Количество обменного натрия в составе поглощенных катионов незначительно и составляет в профиле почвы 0.5-0.9% от емкости катионного обмена. По значениям емкости катионного обмена эти почвы относятся к почвам высоко устойчивым к антропогенным воздействиям (ЕКО>40 смоль (экв.)/кг почвы; Кирюшин, 1996). Профиль чернозема типичного также не засолен, содержание сухого остатка изменяется в диапазоне от 0.123 до 1.333%.

Таблица 1. Физико-химические свойства черноземов.

Индекс горизонта, глубина в см	рН Н ₂ О	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Емкость катионного обмена	Сухой остаток, %
		смоль(экв.)/кг почвы				
Чернозем типичный (среднее ± стандартное отклонение, n=16)						
А _{пах.} , 0-28	7.3±0.3	40.5±1.8	7.6±0.5	0.23±0.1	48.0±2.0	0.123±0.014
А ₁ , 28-58	7.3±0.3	36.9±4.1	7.7±0.8	0.30±0.07	44.6±3.5	0.128±0.02
АВ, 58-89	7.6±0.4	29.3±2.9	6.7±0.6	0.32±0.08	37.0±3.0	0.128±0.004
В, 89-118	8.2±0.2	28.0±1.0	6.3±1.2	0.22±0.02	34.7±3.5	0.133±0.01
С, 118-150	8.3±0.1	31.7±2.5	6.7±0.6	0.31±0.02	37.5±2.1	0.130±0.002
Чернозем выщелоченный (среднее ± стандартное отклонение, n=16)						
А _{пах.} , 0-28	6.6±0.3	38.0±2.6	8.6±1.3	0.31±0.09	47.4±2.7	0.115±0.043
А ₁ , 28-60	6.6±0.3	35.0±3.5	7.8±1.4	0.28±0.01	43.0±4.5	0.097±0.047
АВ, 60-80	6.6±0.2	29.7±0.6	6.7±1.2	0.27±0.01	36.4±0.8	0.112±0.002
В, 80-120	7.0±0.3	24.0±1.4	7.7±0.6	0.21±0.01	31.6±2.3	0.120±0.004
С _к , 120-150	8.2±0.2	24.3±1.5	7.0±1.0	0.22±0.01	30.0±0.8	0.122±0.003

Содержание гумуса в пахотном горизонте характеризуется как высокое и составляет в среднем 9.02%, с глубиной этот показатель постепенно снижается до 1.29% в горизонте С. По степени обеспеченности почв питательными элементами (Кирюшин, 1996) содержание щелочно-гидролизующего азота характеризуется как высокое, подвижного фосфора – среднее, обменного калия – очень высокое (табл. 2).

Таблица 2. Агрохимические свойства черноземов.

Индекс горизонта, глубина в см	Гумус, %	Щелочно- гидролизующий азот, мг/кг почвы	P ₂ O ₅	K ₂ O
			подвижный	обменный
мг/100 г почвы				
Чернозем типичный (среднее ± стандартное отклонение, n=16)				
A _{пах.} , 0-28	9.02±0.86	212±16	5.95±1.57	233±48
A ₁ , 28-58	6.59±1.1	138±23	5.07±0.32	210±57
AB, 58-89	3.63±1.1	92±12	6.61±0.32	245±34
B, 89-118	1.59±0.53	65±14	6.60±1.28	159±17
C, 118-150	1.29±0.4	33±4	2.31±0.36	142±9
Чернозем выщелоченный (среднее ± стандартное отклонение, n=16)				
A _{пах.} , 0-28	9.65±1.39	216±17	6.21±1.01	258±67
A ₁ , 28-60	7.39±0.9	147±31	5.24±0.42	168±36
AB, 60-80	4.16±0.49	93±16	3.32±0.31	183±22
B, 80-120	2.14±0.39	38±4	7.97±0.58	160±19
C _к , 120-150	1.07±0.46	32±2	2.02±0.17	142±11

По сравнению с типичными черноземами выщелоченные характеризуются слабнокислой реакцией среды в гумусово-аккумулятивных горизонтах, которая плавно переходит в слабощелочную к почвообразующей породе (горизонт С). Среди поглощенных оснований также преобладает кальций, доля обменного натрия составляет примерно 0.7% от ЕКО, при этом в пахотном и подпахотном горизонтах ЕКО составляет 43.0-47.4 смоль (экв.)/кг почвы. Засоление в профиле почвы также отсутствует (сухой остаток изменяется в пределах от 0.097 до 0.122%; табл. 1).

По содержанию гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте чернозема выщелоченные превышают значения чернозема типичного в среднем на 0.7%. Обеспеченность щелочно-гидролизующим азотом высокая с учетом потребностей, как зерновых, так и кормовых и овощных культур. Обеспеченность подвижным фосфором – средняя, обменным калием – высокая (табл. 2).

Водно-физические свойства. Орошение почв, в том числе и черноземов, приводит к увеличению плотности и снижению водопроницаемости, что является следствием разрушения их структуры (Несват, 2011). В связи с чем возникает необходимость изучения и оценки для пригодности использования в орошаемом земледелии водно-физических свойств чернозема типичного и выщелоченного. В полевых условиях механический состав изученных почв определялся как тяжелосуглинистый. Аналитические исследования показали (табл. 3), что в профиле чернозема типичного содержание частиц размером <0.01 мм (физической глины) изменяется от 55 до 63%, а в почвообразующей породе достигает 64%. Такое количество физической глины указывает на тяжелый гранулометрический состав, пограничный между тяжелым суглинком и легкой глиной. Как известно, для черноземов типичных характерно отсутствие передвижения илистой фракции (<0.001 мм) в профиле. Однако в данном случае отмечается незначительное уменьшение ила в пахотном слое и его передвижение на глубину до 80 см в переходном горизонте АВ, что связано, по всей видимости, с орошением, которое проводилось на этом участке в 1981-1992 гг. В отличие от чернозема типичного, в профиле чернозема выщелоченного передвижение илистой фракции вниз по профилю более выражено. При этом во всех почвах преобладают фракции ила и крупной пыли, обогащенность илстыми частицами определяет формирование водопроходной структуры, а наличие крупной пыли при высоком залегании карбонатов способствует рыхлости профиля черноземов и высокой общей

пористости, которая составляет около 60% в гумусово-аккумулятивных горизонтах (табл. 4). Плотность пахотных слоев оценивается как рыхлая, твердость структурных отдельностей незначительна. В средней части профиля плотность составляет 1.04-1.20 г/см³, что характеризует его сложение как оптимальное (Кирюшин, 1996).

Таблица 3. Гранулометрический состав черноземов по содержанию фракций в %.

Индекс горизонта, глубина в см	Гигроскопическая влага, %	Размер частиц, мм						Сумма частиц	
		1-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	<0.01	>0.01
Чернозем типичный									
А _{пах.} , 0-28	5.28	1.22	5.55	33.41	9.39	16.75	33.68	59.62	40.18
А1, 28-58	4.87	1.12	4.88	31.45	8.24	17.66	36.65	62.55	37.45
АВ, 58-89	4.28	1.65	5.08	38.01	6.17	13.04	36.05	55.26	44.74
В, 89-118	4.16	0.74	5.58	31.27	16.91	13.29	32.21	62.41	37.59
С, 118-150	3.75	1.64	7.18	27.20	12.96	14.45	36.57	63.98	36.02
Чернозем выщелоченный									
А _{пах.} , 0-28	5.91	0.9	11.6	30.0	17.0	21.5	19.0	57.5	42.5
А1, 28-60	4.33	1.2	14.8	27.5	21.0	14.5	21.0	56.5	43.5
АВ, 60-80	4.87	1.0	17.0	17.5	21.5	16.5	26.5	64.5	35.5
В, 80-120	4.21	0.8	5.2	30.5	18.5	16.0	29.0	63.5	36.5
Ск, 120-150	4.04	1.7	10.8	24.8	7.9	17.0	38.8	63.7	37.3

Таблица 4. Водно-физические свойства черноземов.

Горизонт, глубина в см	Плотность, г/см ³		Твердость, кг/см ²	Почвенно-гидрологические константы, в % от массы почвы					
	сложения	твердой фазы		ГВ	МГ	ВЗ	НВ	КВ	ПВ
Чернозем типичный									
А _{пах.} , 0-28	1.01	2.57	1.81	5.28	9.11	12.2	46.0	52.2	56.7
А1, 28-58	1.04	2.61	2.69	4.87	8.76	11.7	40.9	48.6	51.64
АВ, 58-89	1.17	2.68	4.41	4.28	8.19	10.9	34.2	39.5	44.02
В, 89-118	1.43	2.71	11.69	4.16	8.22	11.0	26.0	27.3	30.16
Чернозем выщелоченный									
А _{пах.} , 0-28	1.00	2.59	1.82	5.91	8.50	11.3	42.7	43.0	52.80
А1, 28-60	1.04	2.61	2.20	4.33	8.42	11.2	37.8	39.3	50.60
АВ, 60-80	1.20	2.74	4.60	4.87	8.10	10.8	35.9	36.4	41.43
В, 80-120	1.45	2.72	16.50	4.21	7.92	10.6	26.1	28.4	31.40

Примечания к таблице 4: ГВ – гигроскопическая влажность, МГ – максимальная гигроскопическая влажность, ВЗ – влажность завядания, НВ – наименьшая влагоемкость, КВ – капиллярная влагоемкость, ПВ – полная влагоемкость

Чернозем типичный и выщелоченный обладают высокой влагоемкостью и водоудерживающей способностью, показатели наименьшей влагоемкости в профиле почв составляют 41-46 и 38-43 мм соответственно. Запасы продуктивной влаги в них, по данным А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной (1986), оцениваются как хорошие (табл. 4). Определение водопроницаемости в полевых условиях, показало, что коэффициент впитывания по классификации Н.А. Качинского (Теории ..., 2007) для

тяжело- и среднесуглинистых почв для пахотного горизонта составил для чернозема типичного – 173, для чернозема выщелоченного – 221, что относится к категории «хорошая». На глубине 50 см значения коэффициента впитывания увеличиваются до 382 и 365 соответствуя категории «наилучшая» (рис.).

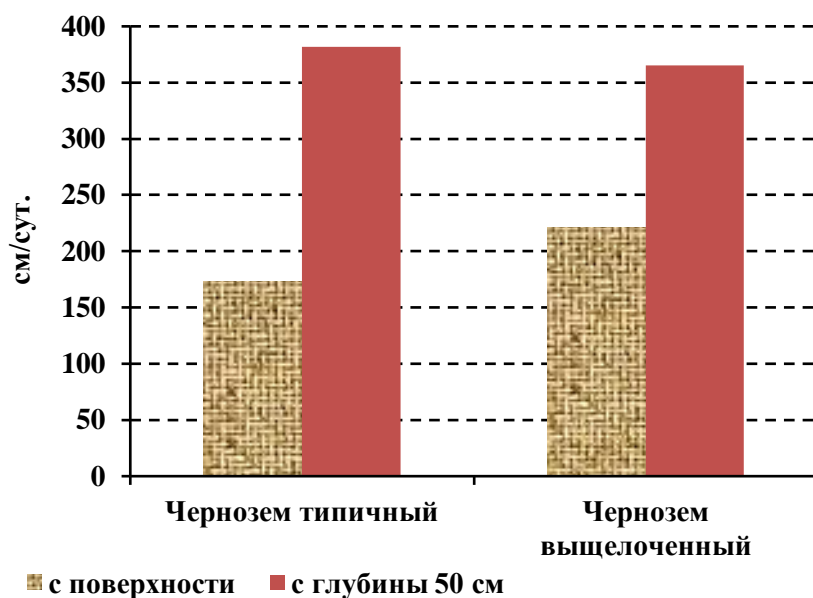


Рис. Коэффициент впитывания агрочерноземов.

низкое (Киришин, 1996), однако в почвообразующей породе отмечается увеличение содержания меди марганца, что, вероятно, связано с их повышенным содержанием в подстилающих горных породах. В то же время содержание тяжелых металлов I класса токсичности (Pb, Cd) не превышает значения предельно допустимых концентраций (ПДК; табл. 5).

Таблица 5. Содержание тяжелых металлов и микроэлементов, мг/кг.

Индекс горизонта, глубина в см	Pb ПДК – 6.0	Cd ПДК – 2.0	Co	Zn	Cu	Mn
Чернозем типичный (среднее ± стандартное отклонение, n=8)						
A _{пах.} , 0-28	5.1±0.4	0.27±0.04	0.32±0.18	1.35±0.65	0.45±0.17	4.75±1.75
A ₁ , 28-58	2.2±0.7	0.12±0.02	0.17±0.05	0.51±0.20	0.33±0.06	2.01±0.44
AB, 58-89	2.6±0.4	0.10±0.03	0.16±0.07	0.45±0.02	0.34±0.04	1.71±0.19
B, 89-118	3.2±0.5	0.11±0.05	0.06±0.02	0.66±0.41	0.71±0.44	2.09±1.04
C, 118-150	2.8±0.3	0.13±0.02	0.22±0.05	1.20±0.14	1.73±0.23	31.37±10.73
Чернозем выщелоченный (среднее ± стандартное отклонение, n=8)						
A _{пах.} , 0-28	5.4±0.8	0.28±0.01	0.26±0.09	1.61±0.77	0.38±0.06	5.39±1.77
A ₁ , 28-60	2.4±0.9	0.14±0.03	0.18±0.08	0.62±0.24	0.31±0.07	4.84±1.11
AB, 60-80	2.7±0.3	0.11±0.02	0.17±0.06	0.52±0.26	0.33±0.05	2.41±0.27
B, 80-120	2.9±0.5	0.11±0.03	0.10±0.02	0.67±0.32	0.68±0.09	3.17±1.06
C _к , 120-150	2.7±0.4	0.12±0.02	0.23±0.07	1.21±0.17	1.68±0.34	35.48±9.52

Заключение

Проведенные исследования по мелиоративной оценке агрочернозёмов в целях их использования под орошение на участке, расположенном в пределах Предуральской южно-лесостепной зоны,

показали, что почвенный покров представлен черноземами типичными и выщелоченными. Их гумусово-аккумулятивные горизонты характеризуются высокой мощностью, порошисто-зернисто-комковатой структурой пахотных и зернисто-комковатой структурой подпахотных горизонтов.

Гумусово-аккумулятивные горизонты черноземов характеризуются слабокислой и нейтральной реакцией среды, которая с глубиной становится слабощелочной. Почвы насыщены основаниями, среди которых преобладает кальций, доля поглощенного натрия в составе почвенно-поглощающего комплекса незначительная, угроза осолонцевания отсутствует. Профили почв не засолены. По содержанию гумуса изученные почвы относятся к высокой категории, обеспеченность щелочногидролизуемым азотом – высокая, подвижным фосфором – средняя, обменным калием – высокая.

Черноземы характеризуются тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, благоприятными водно-физическими свойствами, оптимальной плотностью сложения, высокой влагоемкостью и водоудерживающей способностью, хорошей водопроницаемостью с поверхности почвы и наилучшей с глубины 50 см.

Обеспеченность микроэлементами пахотных горизонтов по содержанию кобальта – средняя, цинка – низкая, меди – средняя, марганца – низкая. Содержание тяжелых металлов свинца и кадмия находится в пределах предельно допустимых концентраций.

По своим физико-химическим, агрохимическим и водно-физическим свойствам черноземы типичный и выщелоченный близки между собой и характеризуются высоким естественным плодородием и пригодны для использования в оросительной мелиорации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрохимические методы исследования почв. 1976. М.: Наука. 656 с.
- Апарин Б.Ф., Абакумов Е.В., Касаткина Г.А., Матинян Н.Н., Русаков А.В., Рюмин А.Г., Сухачева Е.Ю. 2012. Почвенное картирование: учебно-методическое пособие / Ред. Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета. 128 с.
- Ариунушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв М.: Изд-во Московского университета. 488 с.
- Вадюнина А.Ф. 1986. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие по специальности «Агрохимия и почвоведение». 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат. 415 с.
- Витковская С.Е. 2011. Методы оценки неоднородности почвенного покрова при планировании и проведении полевых опытов. СПб: АФИ. 52 с.
- Кирюшин В.И. 1996. Экологические основы земледелия: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Колос. 367 с.
- Несват А.П. 2011. Влияние орошения на водно-физические свойства тёмно-каштановых почв // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. С. 57-58.
- Почвы Башкортостана. 1995. Т. 1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / Сост. Ф.Х. Хазиев, А.Х. Мукатанов, И.К. Хабиров, Г.А. Кольцова, И.М. Габбасова, Р.Я. Рамазанов. Ред. Ф.Х. Хазиев. Уфа: Гилем. 384 с.
- Теории и методы физики почв. 2007 / Ред. Е.В. Шеин, Л.О. Карпачевский. М.: Гриф и К. 616 с.
- Физико-географическое районирование Башкирской АССР. 1964 / Ред. И.П. Кадильников. Уфа. 210 с.
- Хожанов Н.Н., Естаев К.А., Амангельди К. 2013. Оценка качества почвы при орошении сточными водами // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения – 9: новый вектор развития высшего образования и науки», посвященная дню Первого Президента Республики Казахстан. Т. 1. Ч. 2. С. 118-120.
- Abd-Elwahed M.S. 2019. Effect of long-term wastewater irrigation on the quality of alluvial soil for agricultural sustainability // Annals of Agricultural Sciences. Vol. 64. Is. 2. P. 151-160.
- Aydin M.E., Aydin S., Beduk F., Tor A., Tekinay A., Kolb M., Bahadir M. 2015. Effects of long-term irrigation with untreated municipal wastewater on soil properties and crop quality // Environmental Science and Pollution Research. No. 22. P. 19203-19212.
- Elgallal M., Fletcher L., Evans B. 2016. Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: A review // Agricultural Water Management. Vol. 177. P. 419-431.
- Jahany M., Rezapour S. 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment // Ecological Indicators. Vol. 109. [Электронный ресурс <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105800> (дата обращения 01.11.2020)].
- Mendoza-Espinosa L.G., Cabello-Pasini A., Macias-Carranza V., Daessle-Heuser W., Orozco-Borbon M.V., Quintanilla-Montoya A.L. 2008. The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines //

Water Science and Technology. No. 57. P. 1445-1450.

Rezapour S., Atashpaz B., Moghaddam S.S., Damalas C.A., 2019. Heavy metal bioavailability and accumulation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) irrigated with treated wastewater in calcareous soils // Science of the Total Environment. No. 656. P. 261-269.

Bedbabis S., Trigui D., Ben Ahmed C., Clodoveo M.L., Camposeo S., Vivaldi G.A., Ben Rouina B. 2015. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality // Agricultural Water Management. Vol. 160. P. 14-21.

Wan Z., Chang A.C., Wu L., Crowley D. 2003. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland // Geoderma. No. 114. P. 261-278.