

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии
наук
(УФИЦ РАН)
Уфимский Институт биологии- обособленное структурное
подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального исследовательского центра Российской
академии наук
(УИБ УФИЦ РАН)

На правах рукописи

Зайкин Сергей Викторович

Устойчивость почвенных процессов различных агроэкосистем
Зауральской степи в условиях изменения климата

03.02.13 – Почвоведение

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Уфа–2022

Работа выполнена в Уфимском Институте биологии – обособленном структурном подразделении Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

Научный руководитель: - **Сулейманов Руслан Римович**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории почвоведения Уфимского Института биологии УФИЦ РАН

Рецензенты - **Зайцев Глеб Анатольевич**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории лесоведения Уфимского Института биологии УФИЦ РАН

- **Сайфуллин Ирик Юлаевич**, кандидат биологических наук, доцент Кафедры геодезии, картографии и географических информационных систем БашГУ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. В Степной зоне Башкирского Зауралья при совместном влиянии антропогенных и природных факторов деструктивные процессы в почвах связаны прежде всего с развитием водной и ветровой эрозии.

Степная зона Башкирского Зауралья является не только засушливым регионом, но и ее степень аридности, и смещение ее границ дальше на север (при сравнении со степью Предуралья) зависит от влияния подветренного положения восточных склонов Южного Урала. В силу этого в чертах климата СБЗ начинают проявляться резко континентальные особенности.

Главной особенностью эрозионных процессов при таких условиях является преобладание воздушной эрозии над водной вследствие увеличения интенсивности испарения влаги с поверхности почвы и ее иссушения. Изменения регионального климата, несомненно, оказывает влияние на увеличение площади эродированных земель и усиление эрозионных процессов.

Известно, что решающим фактором в развитии эрозии почв является их сельскохозяйственное использование. Эрозия пахотных почв – наиболее распространенный тип их деградации. Для разработки рациональных приемов повышения устойчивости почв и их охраны от эрозионного разрушения необходимо детально изучить свойства этих почв, процессы протекающие в них и факторы, вызывающие эрозию.

Цель исследований - изучить устойчивость почвенных процессов различных агроэкосистем при изменении климатических условий в Зауральской степной зоне.

Задачи:

1. Анализ динамики основных климатических показателей в Зауральской степи.

2. Оценка агрофизических свойств и устойчивости к проявлению водной эрозии агрочернозема в условиях No-Till обработки в Зауральской степной зоне.

3. Оценка влияния отвалов Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината на почвы пойм рек Карагайлы и Худолаз в пределах городского округа города Сибай Республики Башкортостан.

Объекты и методы исследования

При анализе временной изменчивости климатических величин рассчитывались их базовые характеристики: средняя по метеорологическим станциям и в целом для региона (климатические нормы за периоды 1966-2015 гг. и 1981-2010 гг.), среднеквадратическое отклонение (СКО); выявлены максимальные и минимальные значения величин.

Оценка региональных изменений климата в СБЗ осуществлялась при помощи тренд-анализа. Величиной коэффициента детерминации R^2 оценивали вклад линейного тренда в изменчивость показателей. Достоверность результатов оценивалась с помощью критериев Фишера и Стьюдента.

В качестве прикладных гидротермических показателей использовались широко распространенные методы – коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (КУ) и индекс атмосферного увлажнения (или засушливости) Д.А. Педя (S).

Анализ влияния на эрозионные процессы основан на изменении морфологических, агрофизических и агрохимических свойств почв.

Для анализа морфологии и агрохимии почв и содержания в них подвижных форм тяжелых металлов (кадмий, медь, цинк) и мышьяка нами было заложено шесть почвенных разрезов на однородных участках пойм и долин рек Карагайлы и Худолаз, испытывающих различную степень антропогенного воздействия.

Три участка были расположены в пределах городской черты, и три участка в местах с условным природным фоном.

Химический анализ почв проводился в соответствии с Агрохимическими методами исследования почв, общепринятыми в почвоведении: на рН – потенциметрически, содержание минерального азота определяли колориметрическим методом,

гумуса по методу Тюрина, содержание подвижного фосфора и калия – по Кирсанову. Статистическая обработка результатов выполнялась по Дмитриеву (1995). Приведенные в таблицах данные отражают средние значения.

Подвижные формы тяжелых металлов и мышьяка определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии согласно методикам выполнения измерений РД 52.18.289-90 и РД 52.18.721-2009. Для оценки содержания подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка использовали значения предельно допустимых концентраций (ПДК для меди и цинка) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК для кадмия и мышьяка) гигиенического норматива 1.2.3685-21 от 28.01.2021 г.

Гранулометрический состав (определен методом пипетки (Шеин, Карпачевский, 2007)) гумусово-аккумулятивного горизонта почва характеризуется как суглинистый класс механического состава (песок - 21,7 %, ил - 47,8 %, глина - 30,5 %), реакция почвы - нейтральная ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ - 6,9), содержание органического вещества 38,9 (г/кг почвы), щелочной гидролизующий азот – 166 (мг кг^{-1} почвы) и подвижного фосфора – 1,9 (мг кг^{-1} почвы) (Габбасова и др., 2015).

Физические свойства почв определяли общепринятыми в почвоведении методами. науки: насыпная плотность (определена бурением), категории влажности (установлена определяется водонасыщением и дальнейшим взвешиванием), структурно-агрегатный состав (был определяется гравиметрическим ситовым методом), водостойкость почвенных агрегатов (была определяется мокрым просеиванием) (Шеин, Карпачевский, 2007). Полевая влажность определялась с помощью Датчика влажности почвы SM 150 цифровой полевой влагомер, проникновение в почву измерялось из почвы поверхности на глубину 45 см с интервалом 2,5 см с помощью измерителя уплотнения почвы FieldScout SC 900 снабженного металлическим стержнем с конусом (размером 1/2 дюйма), температура почвы измерялась почвенным термометром АМ-6. Карта расположения исследуемой территории была создана с использованием сервиса Google maps. статистический анализ

(среднее, стандартное отклонение, критерий Стьюдента) выполняли с использованием MS Excel 2007.

Научная новизна исследований

Были подтверждены изменения климатических условий в Южно-Уральском регионе проведен анализ временной изменчивости климатических величин. Выявлены тенденции основных климатических показателей оказывающих влияние на характер эрозионных процессов в степной зоне Башкирского Зауралья.

Исследования, проводимые по изучению физических свойств грунтов в СПК Красная Башкирии (Абзелиловский район Республики Башкортостан) показали, что в результате при переходе на использование No-till сохраняется и повышается влажность почвы. Значения капиллярной и общей влагоемкости, а также насыпной плотности в верхнем слое 0-20 см агрочерноземов, приближаются по значениям к природным почвам. Измерение сопротивления грунта проникновению металлического стержня с конусом на конце от поверхности на глубину 45 см показало, что показатели плотности почвы соответствуют природным землям и находятся в оптимальных пределах для роста и развития сельскохозяйственных растений.

Структурно-агрегатный состав агрочерноземов в условиях No-Till. характеризуются отличным агрегатным состоянием при их чрезмерно высокой устойчивости к повреждающему воздействию воды

Практическая значимость работы.

Полученные материалы могут быть использованы при прогнозировании развития водной и ветровой эрозии в разных агроэкологических условиях и планировании рационального использования земель.

Апробация работы и публикации.

Материалы диссертации представлены на международной научно-практической конференции (Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации, Москва, 2020г.), международной научно-практической

конференции (Устойчивое развитие территорий: теория и практика, Сибай, 2020 г.), девятом международный симпозиум «Степи Северной Евразии» (Оренбург, 2021 г.).

По результатам исследований опубликовано 7 научных работ, включая 2 статьи в изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus, 3 работы входит в Перечни рецензируемых научных изданий ВАК РФ.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов и списка литературы из 123 наименования. Материал диссертации включает 90 страниц компьютерного набора (формат А4), содержит 14 рисунков 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Анализ динамики основных климатических показателей

Степна зона Башкирского Зауралья (СБЗ) является не только засушливым регионом, но и ее степень аридности, и смещение ее границ дальше на север (при сравнении со степью Предуралья) зависит от влияния подветренного положения восточных склонов Южного Урала. В силу этого в чертах климата СБЗ начинают проявляться резко континентальные особенности.

Средняя годовая температура воздуха составляет для периода 1966-2015 гг. $2,9^{\circ}\text{C}$, для периода 1981-2010 гг. – $3,2^{\circ}\text{C}$. Выявлены устойчивые статистически значимые тренды в обоих периодах: коэффициенты наклона линейных трендов составили $0,47^{\circ}\text{C}/10$ лет и $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно (рисунок 1). Наибольшие средние годовые температуры в регионе наблюдались в 2001 г. на метеостанции Баймак ($5,3^{\circ}\text{C}$) и в 2015 г. на метеостанции Акъяр ($5,5^{\circ}\text{C}$).

Увеличились средние температуры воздуха в центральные месяцы холодного и теплого периодов – января и июля (таблица 1). Наибольшая скорость роста температуры обнаружена в январе для всего рассматриваемого периода ($0,69^{\circ}\text{C}/10$ лет). В базовом оперативном периоде выявлены отрицательные тренды температуры

января ($-0,34^{\circ}\text{C}/10$ лет). Объясняется это тем, что в 1980-х гг. наступает активная фаза глобального потепления.

Рост температуры воздуха июля имеет меньший темп: $0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет в периоде 1966-2015 гг. Незначимые тренды температуры этого месяца обнаружены в периоде 1981-2010 гг.

Временная изменчивость, которая характеризуется через СКО величины, в зимний период наибольшая, что объясняется наибольшей вариацией январской температуры. С этим также связаны различия между максимальными и минимальными температурами. В январе разница между данными показателями составляет $18,5^{\circ}\text{C}$, в июле – $7,7^{\circ}\text{C}$. Выявлено, что величина СКО для базового оперативного периода уменьшилась.

Временная изменчивость, которая характеризуется через СКО величины, в зимний период наибольшая, что объясняется наибольшей вариацией январской температуры. С этим также связаны различия между максимальными и минимальными температурами. В январе разница между данными показателями составляет $18,5^{\circ}\text{C}$, в июле – $7,7^{\circ}\text{C}$. Выявлено, что величина СКО для базового оперативного периода уменьшилась.

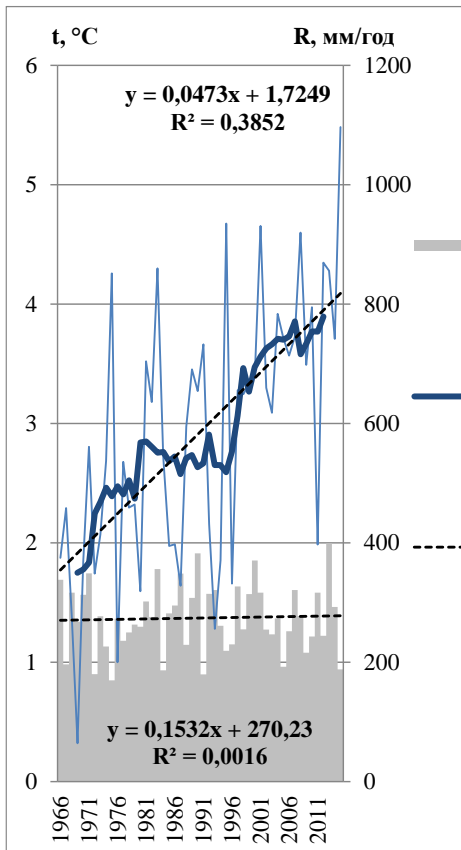
Таблица 1. Основные показатели температурного режима и его изменений.

Метео- величина	Метео- станция	1966-2015			1981-2010			Макс. значение	Миним. значение
		Среднее	СКО	КНЛТ ^a	Среднее	СКО	КНЛТ ^a		
Температ ура января	Баймак	-14.5	3.6	0.67	-13.2	3.0	-0.28	-6.7	-24.0
	Акъяр	-14.7	4.0	0.72	-13.3	3.5	-0.40	-5.4	-25.3
	Среднее	-14.6	3.8	0.69	-13.3	3.2	-0.34	-6.1	-24.7
Температ ура июля	Баймак	18.9	1.9	0.31	19.0	1.9	-0.03	22.5	15.0
	Акъяр	20.2	1.9	0.25	20.4	1.9	-0.03	24.2	16.0
	Среднее	19.6	1.9	0.26	19.7	1.9	-0.03	23.2	15.5
Средняя годовая температ ура	Баймак	2.5	1.1	0.43 ^b	2.8	0.9	0.43 ^b	5.3	-0.01
	Акъяр	3.3	1.1	0.47 ^b	3.5	1.0	0.41 ^b	5.5	0.7
	Среднее	2.9	1.1	0.47 ^b	3.2	0.9	0.42 ^b	5.5	0.3

^a $^{\circ}\text{C}/10$ лет.

^b статистически значимый тренд при уровне достоверности 95%.

Годовая сумма атмосферных осадков составляет 274 мм/год. За весь рассматриваемый период она имеет незначительную тенденцию к уменьшению (рисунок 1), а в базовом оперативном периоде обнаружена более существенный отрицательный тренд (-12,5 мм/10 лет). В последнем периоде в регионе СБЗ выявлены тренды с аналогичным знаком как в холодном, так и теплом периоде (таблица 2).



Примечание: жирной линией показаны скользящие 7-летние средние

Рисунок 1. Многолетний ход средней годовой температуры воздуха и суммы осадков

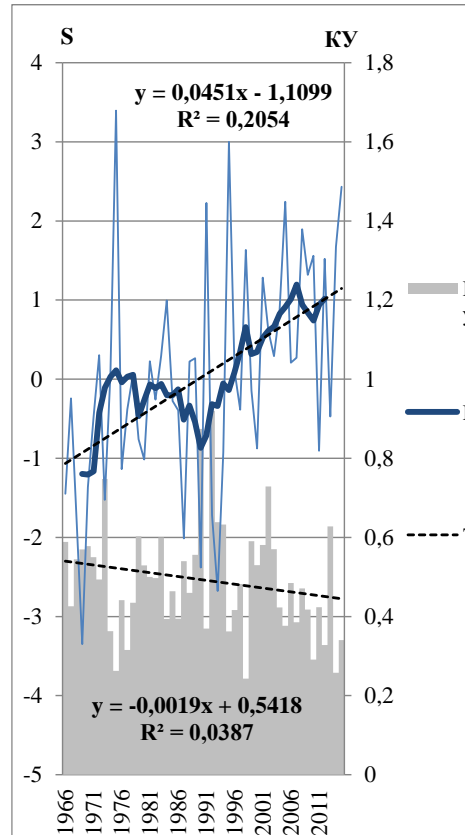


Рисунок 2. Многолетний ход коэффициента увлажнения и индекса засушливости Педя

При сравнении скоростей изменений суммы осадков теплого и холодного периодов, в последнем они существеннее (-10,5 мм/10 лет).

Таблица 2. Основные показатели режима увлажнения и его изменений.

Метео- величина	Метео- станция	1966-2015			1981-2010			Макс. значение	Миним. значение
		Средн ее	СКО	КНЛТ ^а	Сред нее	СКО	КНЛТ ^а		
Сумма осадков холодного периода	Баймак	95	26	1.8	95	21	2.8	156	41
	Акъяр	104	30	2.8	107	26	-6.7	166	39
	Среднее	141	35	2.6	144	30	-2.0	206	56
Сумма осадков теплого периода	Баймак	248	78	-0.2	247	81	-16.0	441	88
	Акъяр	104	27	3.6	108	27	-51.0	160	39
	Среднее	233	59	-1.1	236	62	-10.5	395	105
Годовая сумма осадков	Баймак	344	89	1.6	342	89	-13.2	557	166
	Акъяр	209	50	6.5	214	48	-11.8	322	109
	Среднее	274	56	1.5	278	54	-12.5	602	216
Коэффициент увлажнения	Баймак	0.54	0.17	-0.01	0.54	0.18	-0.01	1.08	0.24
	Акъяр	0.46	0.17	-0.02	0.47	0.20	-0.01	1.15	0.13
	Среднее	0.49	0.14	-0.02	0.51	0.15	-0.04	0.92	0.24
Индекс засушливости и Педя	Баймак	-	1.48	0.38 ^б	-	1.43	0.53	3.07	-3.40
	Акъяр	-	1.51	0.48 ^б	-	1.39	0.64 ^б	3.71	-3.29
	Среднее	-	1.45	0.45 ^б	-	1.36	0.59	3.39	-3.35

^а мм/10 лет для атмосферных осадков и единица/10 лет для коэффициента увлажнения, индекса Педя.

^б статистически значимый тренд при уровне достоверности 95%.

Выявлено, что временная вариативность суммы осадков в холодном периоде уменьшилась, в теплом и годовом периодах – увеличилась. Сумма осадков теплого периода производит наибольший вклад в «годовые» тренды. Следовательно, летние осадки становятся более неустойчивые.

Коэффициент увлажнения составил для разных анализируемых периодов 0,49 и 0,51, что относит регион к полусухим (семиаридным) условиям. Тренды этого показателя отрицательные (рисунок 2).

Индекс Педя имеет тенденцию к увеличению, что свидетельствует о нарастании более засушливых условий. Самое

низкое значение индекса Педя отмечается в холодном 1969 году и составило -3,35 (холодные и сухие условия, зима малоснежная), самое высокое – в 1975 г. 3,39 (условия сильной засухи).

Изменения климатических условий информативно показывают аномалии гидротермических величин. Рассчитанные данные, характеризующие структуру лет с разной степенью аномальности, представлены в таблице 3.

Самые большие изменения в структуре лет выявлены у средней годовой температуры воздуха. В период 1981-2010 гг. существенно уменьшилось количество лет, относящихся к критериям «Очень холодный» и «Холодный»; также уменьшились годы критерия «Очень теплый».

Структура аномалий годовой суммы осадков показывает, что отмечается снижение аномальных лет за счет увеличения годов со значениями в пределах нормы.

Таблица 3. Структура аномальных годов по основным гидротермическим показателям ^а.

	Аномалия	1966-2015	1981-2010
Средняя годовая температура воздуха	Очень холодный год	30	23
	Холодный	8	3
	В пределах нормы	16	40
	Теплый	18	17
	Очень теплый	28	17
Сумма осадков	Засушливый год	18	17
	В пределах нормы	68	70
	Увлажненный год	14	13
Индекс Педя	Холодный и сухой год	8	10
	В пределах нормы	80	80
	Теплый и влажный год	12	10

^а данные приведены в процентах от числа лет в периоде.

Выявленные тенденции основных климатических показателей будут оказывать влияние на характер эрозионных процессов в СБЗ. На фоне нарушения систем землепользования и высокой степени распаханности территории, применения отвальной вспашки и снижения доли внесения органических удобрений отмечается ухудшение основных свойств почв. В первую очередь происходит разрушение агрономически ценных почвенных агрегатов, снижение содержания органического вещества и питательных элементов, что в

конечном итоге способствует повышению интенсивности испарения влаги с поверхности почвы, ее иссушению и снижению устойчивости к проявлению эрозионных процессов.

В термическом режиме наблюдается существенное потепление во все сезоны. Средняя годовая температура воздуха имеет статистически значимый тренд. Сумма атмосферных осадков имеет некоторую тенденцию к снижению, наибольшая скорость уменьшения обнаружена в теплом (летнем) периоде. Комплексные показатели теплообеспеченности и влагообеспеченности свидетельствуют о нарастании засушливости, особенно в теплый сезон.

Эти изменения климата в степи Башкирского Зауралья и сложившаяся система земледелия приводят к снижению устойчивости почвы к проявлению воздушной и водной эрозии.

2. Объекты и методы исследования

При анализе временной изменчивости климатических величин рассчитывались их базовые характеристики: средняя по метеорологическим станциям и в целом для региона (климатические нормы за периоды 1966-2015 гг. и 1981-2010 гг.), среднеквадратическое отклонение (СКО); выявлены максимальные и минимальные значения величин.

Оценка региональных изменений климата в СБЗ осуществлялась при помощи тренд-анализа. Величиной коэффициента детерминации R^2 оценивали вклад линейного тренда в изменчивость показателей. Достоверность результатов оценивалась с помощью критериев Фишера и Стьюдента.

В качестве прикладных гидротермических показателей использовались широко распространенные методы – коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (КУ) и индекс атмосферного увлажнения (или засушливости) Д.А. Педя (S).

Анализ влияния на эрозионные процессы основан на изменении морфологических, агрофизических и агрохимических свойств почв.

Для анализа морфологии и агрохимии почв и содержания в них подвижных форм тяжелых металлов (кадмий, медь, цинк) и мышьяка нами было заложено шесть почвенных разрезов на однородных участках пойм и долин рек Карагайлы и Худолаз, испытывающих различную степень антропогенного воздействия.

Почвенные образцы на анализ отбирались в трех повторностях по генетическим горизонтам.

Химический анализ почв проводился в соответствии с Агрохимическими методами исследования почв (Соколов, 1975 г.), общепринятыми в почвоведении: на рН – потенциометрически, содержание минерального азота определяли колориметрическим методом, гумуса по методу Тюрина, содержание подвижного фосфора и калия – по Кирсанову. Статистическая обработка результатов выполнялась по Дмитриеву (1995). Приведенные в таблицах данные отражают средние значения.

Подвижные формы тяжелых металлов и мышьяка определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии согласно методикам выполнения измерений РД 52.18.289-90 и РД 52.18.721-2009. Для оценки содержания подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка использовали значения предельно допустимых концентраций (ПДК для меди и цинка) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК для кадмия и мышьяка) гигиенического норматива 1.2.3685-21 от 28.01.2021 г.

Исследования по изучению физических свойств почв проводились в первое половине сентября 2019 года на территории сельскохозяйственного производственного кооператива (СПК) Красная Башкирия, расположен в Абзелиловском районе Республики Башкортостан в пределах равнинного Транс- Урал. СПК находится в степной зоне.

Гранулометрический состав (определен методом пипетки (Шеин, Карпачевский, 2007)) гумусово-аккумулятивного горизонта почва характеризуется как суглинистый класс механического состава (песок - 21,7 %, ил - 47,8 %, глина - 30,5 %), реакция почвы - нейтральная (рНН₂O - 6,9), содержание органического вещества 38,9

(г/кг почвы), щелочной гидролизующий азот – 166 (мг кг⁻¹ почвы) и подвижного фосфора – 1,9 (мг кг⁻¹ почвы).

Физические свойства почв определяли общепринятыми в почвоведении методами. науки: насыпная плотность (определена бурением), категории влажности (установлена определяется водонасыщением и дальнейшим взвешиванием), структурно-агрегатный состав (был определяется гравиметрическим ситовым методом), водостойкость почвенных агрегатов (была определяется мокрым просеиванием). Полевая влажность определялась с помощью Датчика влажности почвы SM 150 цифровой полевой влагомер, проникновение в почву измерялось из почвы поверхности на глубину 45 см с интервалом 2,5 см с помощью измерителя уплотнения почвы FieldScout SC 900 снабженного металлическим стержнем с конусом (размером 1/2 дюйма), температура почвы измерялась почвенным термометром АМ-6 . Карта расположения исследуемой территории была создана с использованием сервиса Google maps. статистический анализ (среднее, стандартное отклонение, критерий Стьюдента) выполняли с использованием MS Excel 2007.

Эксперимент по моделированию ливневых осадков проведен в лабораторных условиях с использованием дождевальной установки малых габаритов (150x50x250 см). Дождевание проводилось на 9 одинаково подготовленных площадках длиной 1 м, шириной 0,2 м и шириной 0,15. Пробы почв отбирались со следующих участков: с классической обработкой почв (КО), участок с No-Till (NT) обработкой с 1991г., целина: выровненная часть слабопологого склона (Ц).

Интенсивность дождя задавалась 6-7 мм/мин в пределах $\pm 20\%$. Время проведения занимало 30 минут. Уклоны составили 1°, 3° и 7°, почва – чернозем обыкновенный.

3. Изучение устойчивости почв к развитию водной эрозии в различных агроэкологических и геоморфологических условиях

Полевые исследования проводились в конце вегетационного периода (количество осадков за этот период – 290 мм), так как

исследуемые сельскохозяйственные угодья располагались в сопоставимые ландшафтно-климатические условия, то почвенные профили характеризовались примерно один уровень влажности. Поэтому сопротивление проникновению в полевых условиях определялось без измерения влажности.

Определение сопротивления пробиванию с помощью пенетрометра показало, что почти во всех изученных полях, значения сопротивления проникновению в почву металлического стержня с конусом на конце до глубины 20 см находятся в пределах нормального (0-1379 кПа, разрез 3) или среднего роста корня системы (1379-2068 кПа, разрезы 4 и 5). С глубиной эти показатели увеличиваются, что в целом характерно для природных почв (разр. 2). В разрезе 1 глубиной 7,5 см наблюдается резкое увеличение в значениях сопротивления до ~ 4000-4500 кПа, значения которых находятся в пределах плохих (2068 и больше кПа) роста корневой системы и сохраняются на всю глубину исследуемого профиля (до 45 см). Это уплотнение может быть результатом длительного воздействия тяжелой сельскохозяйственной техники.

На момент обследования самая низкая температура в верхнем пахотном (0-20 см) слое почвы наблюдалась на участке с неубранной пшеницы (яма 1), максимальные значения - на полях, где уже собран урожай (разрезы 4 и 5). Разница температур в этих районах составила ~ 4,5°C. Отметим, что температура почвы является важным агрометеорологическим показателем, необходимым для эффективной деятельности сельскохозяйственных методов. Наиболее интересна оценка температуры почвы в верхних слоях почвенного профиля, где растут корни растений. Растительный покров также влияет на температуру и влажность почвы. Конечно, длительные весенне-летне-осенние занятия с применением специальных оборудования необходимы для изучения их сезонных колебаний, так как каждый период вегетационного года имеет свою специфику функционирования системы почва-растение.

На обследованных участках значения полевой влажности были значительно выше, чем в природных почвах, особенно в слое 0-

10 см (примерно на 10-20%). При этом влага категории содержания (капиллярное и общее) были несколько ниже, чем у природной почвы, т.е. вероятно за счет некоторого увеличения насыпной плотности, но в целом эти показатели находятся в пределах типичен для почв региона (Габбасова и др., 2015).

Анализ структурно-агрегатного состава исследованных почв показал, что доля агрегатов агрономически ценного ряда (10-0,25 мм) в почвах сельскохозяйственных угодий составляет ~ 71-76 % (соответственно коэффициент агрегации 2,42-4,26 при 8,62 на природной почве (t- эмпирический - 23,2, t- критическая – 3,71, $p \leq 0,01$)) и характеризуется как «отличное агрегатное состояние», что свидетельствует о формировании оптимального гидрологического и аэрационного режима сельскохозяйственных растений. Агрономическая ценность сооружения определяется его водостойкостью, которая рассчитывается исходя из сумма единиц >0,25 мм, полученных после «мокрого» просеивания. Доля единиц водостойкости исследуемых почв составляла ~80-90% (соответственно, коэффициент водоустойчивости – 0,83-0,89 при 0,93 на природной почве (t- эмпирический – 7,0, t-критический – 3,71, $p \leq 0,01$)), что характеризует структуру почвы как «чрезмерно высокие» и дают возможность прогнозировать, что почва будет устойчива к водной эрозии

Многолетнее применение систем земледелия с применением вспашки, особенно в засушливом климате Зауралья (Россия, Республика Башкортостан) привело к деградации почвенного покрова. Там развитие эрозии, уменьшение мощности гумусово-аккумулятивного горизонта, уменьшение содержания гумуса и питательных веществ, ухудшение водно-физических свойств почвы, в конечном итоге приводит к снижению урожайности и экономической эффективности. Поэтому многие сельскохозяйственные предприятия стали применять почвосберегающие технологии, в том числе No-till.

Исследования, проводимые по изучению физических свойств грунтов в СПК Красная Башкирии (Абзелиловский район

Республики Башкортостан) показал, что в результате при переходе на использование No-till сохраняется и повышается влажность почвы. Значения капилляра и общей влагоемкости, а также насыпной плотности в верхнем слое 0-20 см. агрочерноземы, приближаются по значениям к природным почвам.

Измерение сопротивления грунта проникновению металлического стержня с конусом на конце от поверхности на глубину 45 см показал, что показатели плотности почвы соответствуют природным землям и находятся в оптимальных пределах для роста и развития сельскохозяйственных растений. На одном из сайтов, который обрабатывается по системе No-till около 30 лет, имеется критический уровень уплотнения от глубине 10 см, что, очевидно, связано с типом выращиваемых культур и длительным воздействием тяжелой сельскохозяйственной техники.

Структурно-агрегатный состав агрочерноземов в условиях No-till. характеризуются отличным агрегатным состоянием при их чрезмерно высокой устойчивости к повреждающему воздействию вода.

3.1 Эрозионная устойчивость почв с различной обработкой

Стремительное изменение климата на планете ведет к увеличению числа экстремальных погодных явлений. Оценка интенсивности, частоты и продолжительности осадков, проведенная для разных частей земного шара, привела к неутешительным выводам о тенденции к увеличению количества экстремальных осадков и их большей силе и частоте в сочетании с периодами сильной засухи в долгосрочном прогнозе. Для сельскохозяйственной практики такие изменения означают увеличение развития почвенной эрозии.

Республика Башкортостан входит в число сельскохозяйственных регионов Российской Федерации, поэтому исследование эрозионной устойчивости почв здесь является актуальным вопросом. Кроме того, изучение климатических изменений данной местности за последние десятилетия выявило увеличение длительности засушливых периодов и повышение

повторяемости аномальных осадков. Подобное чередование засухи и интенсивного орошения увеличивает степень как ветровой, так и водной эрозии почв, при этом водная эрозия повышается также за счет большей эрозии разбрызгивания и разрушения макроагрегатов при повышении скорости падения и увеличении размера капель.

К настоящему времени разработано множество практик ведения сельского хозяйства, способствующих снижению эрозионного влияния окружающей среды на обрабатываемые земли. Эффективность технологии прямого посева; Влияние способов посева. Известно, что одним из эффективных методов является применение технологии No-Till (NT). За счет сохранения целостности поверхности почвенного покрова и почвенных агрегатов, большей структурированности и влагопрочности почв в результате увеличения содержания гумуса при накопления органического углерода из пожнивных остатков, метод NT-обработки показывает хорошие результаты в уменьшении времени образования поверхностного стока и выноса с ним почвенных частиц, что снижает влияние осадков на появление почвенной эрозии.

Проведенные исследования направлены на оценку воздействия сильного продолжительного ливня на скорость и интенсивность эрозии сельскохозяйственных земель, обрабатываемых с помощью технологии NT на территории Абзелиловского района Республики Башкортостан. Эксперименты проводились в лабораторных условиях на дождевальном установке. Для сравнительного анализа показателей использовались пробы почв с трех участков, находящихся в практически одинаковых природно-климатических условиях, но с разными типами землепользования: пашня с классической обработкой почв, земли, с системой обработки No-Till (NT), и целинная степь. Формирование стока поверхностных вод происходило при моделировании уклона в 1°, 3° и 7°, что соответствовало выположенному рельефу изучаемой местности, в которой преобладают уклоны земной поверхности менее 10°.

В результате проведенных исследований выявлено, что для всех образцов время стока сокращается при увеличении угла уклона.

Установлено, что раньше всего поверхностный сток начинается на образцах классической обработки почвы (КО) при углах 1° и 7° (на 3 и 0,3 мин соответственно), и совпадает с пробами с НТ при 3° (2 мин). Целинные земли показывают наибольшую устойчивость к эрозионному воздействию (начало стока на 5, 3 и 2 мин при углах наклона 1° , 3° и 7° соответственно), почвы, обрабатываемые методом НТ – среднюю (на 4, 2 и 0,8 мин). Динамика смыва почв имеет схожий характер при всех углах уклона для почв КО: максимальные уровни мутности в начальные моменты стока, незначительное повышение мутности на 5-8 минуте и затем плавное уменьшение до конца эксперимента. Образцы Ц-участков имеют схожую динамику только при уклонах в 1° и 7° , причем при 1° после максимума мутность плавно снижается до конца опыта, а на уклоне в 7° наблюдается незначительное повышение между 8 и 15 минутами. При 3° для Ц в начале стока мутность постепенно повышается, достигает максимума между 5-8 минутами и затем постепенно снижается. Почвы участков НТ имеют следующий характер стока: максимальная мутность на 5, 3 и 0 минуте смыва в зависимости от угла уклона (1° , 3° и 7° соответственно), незначительный подъем мутности для всех углов уклона на 15 минуте и постепенное снижение до конца опыта. Наибольшую степень смыва имеют образцы КО, наименьшую – Ц. Степень подверженности водной эрозии почв НТ по сравнению с двумя другими образцами в зависимости от угла уклона: при 1° в 3,6 раз выше, чем для Ц, но в 4,2 раза ниже почв КО, при 3° – в 3,6 раз выше, чем для Ц и в 8,2 раза ниже, чем для КО и при 7° – в 9,3 раз выше Ц и в 4,2 раз ниже КО.

Проведенные исследования показывают, что целинные земли имеют высокую степень устойчивости к водной эрозии даже при значительном угле уклона (до 7°), а почвы с классической обработкой наиболее подвержены водной эрозии и степень эрозионных изменений существенно возрастает даже при небольшом увеличении угла уклона (до 3°). Для почв с НТ обработкой степень устойчивости сильно зависит от угла уклона и существенно снижается при его

увеличении, но при этом все же имеет более высокие значения, чем для почв с классической обработкой.

5. Оценка влияния Сибайского ГОКА на свойства пойменных почв

Проведенные нами исследования показали, что почвенный покров долин рек Карагайлы и Худолаз в пойменных частях представлен литоземом темногумусовым, темно-гумусовой глеевой и аллювиально-гумусовой почвами; в пределах горных распространен литозем темногумусовый. Обеспеченность почв гумусом имела высокие показатели (6-10%) и достигала очень высоких значений (15,4%) на участке в пойме реки Карагайлы с условным природным фоном. Значения рН исследуемых почв колебались от близкого к нейтральному до нейтрального (5,5-7,7), за исключением участка в пойме реки Худолаз с условным природным фоном, имеющего щелочную реакцию среды (рН=8). Обеспеченность почв нитратным азотом в слое 0-20 см была очень низкая (<10 мг/кг почвы) для всех участков с природным фоном и на средней части склона западной экспозиции в долине реки Карагайлы, где механического антропогенного воздействия на почвенный покров не было выявлено. В пойме реки Карагайлы на отвалах карьера наблюдался средний уровень обеспеченности нитратным азотом (16,2 мг/кг почвы) и самое высокое количество суммарного минерального азота (81,9 мг/кг почвы), достигающее уровня высокой обеспеченности. Почва в пойме реки Худолаз, вблизи которой пролегает автомобильная дорога, имела высокий уровень обеспеченности нитратным азотом (30,3 мг/кг почвы), максимальный среди рассмотренных участков, и высокую степень обеспеченности суммарным минеральным азотом (51,9 мг/кг почвы). Среднюю степень обеспеченности суммарным минеральным азотом имели участок в долине реки Карагайлы в пределах городской черты и фоновый участок в пойме реки Худолаз (31,9 и 35,9 мг/кг почвы соответственно), низкую – фоновый участок в пойме реки Карагайлы (23 мг/кг почвы). И фоновый участок в нижней части склона южной экспозиции долины реки Карагайлы имел очень низкую

обеспеченность суммарным минеральным азотом (<15 мг/кг почвы), показывая самый низкий уровень обеспеченности как суммарным, так и нитратным азотом среди всех изученных участков.

Данные анализов на подвижный фосфор продемонстрировали очень низкую степень обеспеченности (<30 мг/кг почвы) для большинства участков, за исключением показателей в долинах реки Карагайлы, где как на фоновом участке, так и участке в пределах городской черты наблюдалась средняя обеспеченность подвижным фосфором со значениями 100 и 141 мг/кг почвы соответственно. Подвижный калий напротив имел очень высокий (1300, 1300 и 700 мг/кг почвы) и высокий (191 мг/кг почвы) уровень обеспеченности, кроме участков с условным природным фоном в пойме и долине реки Карагайлы, где наблюдались низкие показатели обеспеченности почв подвижным калием со значениями 43 и 40 мг/кг почвы соответственно.

Наибольшая степень загрязнения была выявлена в пойме реки Худолаз рядом с автомобильной дорогой, где санитарно-гигиенического норматив по содержанию тяжелых металлов был превышен по кадмию до 6 ОДК, цинку до 4 ПДК, меди до 3,4 ПДК и мышьяку до 6,6 ОДК. В пойме и долине реки Карагайлы был отмечен более низкий уровень загрязнения почв, при этом также превышающий нормативы: для кадмия до 2,6-3,0 ОДК, цинка до 1,2-1,6 ПДК, мышьяка до 1-4,8 ПДК соответственно. По содержанию меди показатели практически приближались к пороговому значению нормы и составляли: для поймы реки Карагайлы – 0,4 ПДК и для долины реки Карагайлы – 0,9 ПДК.

В то же время на фоновых природных участках отмечалось повышение содержания мышьяка (1,4 ОДК) в долине реки Карагайлы и для пойм рек: повышенные значения содержания кадмия (1,5 ОДК) и мышьяка (2,8-3,6 ОДК) в пойме реки Карагайлы (разрез 1-2020), и превышение по норме всех показателей (кадмия 2,8 ОДК, цинка 1,6 ПДК, меди 1,04 ПДК, мышьяка 4 ОДК) в пойме реки Худолаз (разрез 6-2020), что могло быть вызвано трансграничным переносом загрязняющих веществ.

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что почвенный покров в пределах городской черты городского округа города Сибай Республики Башкортостан подвергался сильному антропогенному воздействию, обусловленному непосредственной близостью функционирующего горно-обогатительного комбината и складированием его вскрышных пород, а также чрезмерным выпасом скота. Данные факторы в результате привели к захламлению местности бытовым мусором, уничтожению растительности и нарушениям в почвенном покрове, изменению агрохимических свойств почв, загрязнению и накоплению в них ТМ (кадмий, цинк, медь) и мышьяка.

Выводы

В термическом режиме наблюдается существенное потепление во все сезоны. Средняя годовая температура воздуха имеет статистически значимый тренд. Сумма атмосферных осадков имеет некоторую тенденцию к снижению, наибольшая скорость уменьшения обнаружена в теплом (летнем) периоде. Комплексные показатели теплообеспеченности и влагообеспеченности свидетельствуют о нарастании засушливости, особенно в теплый сезон.

Эти изменения климата в степи Башкирского Зауралья и сложившаяся система земледелия приводят к снижению устойчивости почвы к проявлению воздушной и водной эрозии.

В результате при переходе на использование No-till сохраняется и повышается влажность почвы. Значения капилляра и общей влагоемкости, а также насыпной плотности в верхнем слое 0-20 см. агрочерноземы, приближаются по значениям к природным почвам.

Структурно-агрегатный состав агрочерноземов в условиях No-till. характеризуются отличным агрегатным состоянием при их чрезмерно высокой устойчивости к повреждающему воздействию вода.

Проведенные исследования показывают, что целинные земли имеют высокую степень устойчивости к водной эрозии даже при

значительном угле уклона (до 7°), а почвы с классической обработкой наиболее подвержены водной эрозии и степень эрозионных изменений существенно возрастает даже при небольшом увеличении угла уклона (до 3°). Для почв с NT обработкой степень устойчивости сильно зависит от угла уклона и существенно снижается при его увеличении, но при этом все же имеет более высокие значения, чем для почв с классической обработкой.

В результате проведенных исследований было установлено, что почвенный покров в пределах городской черты городского округа города Сибай Республики Башкортостан подвергался сильному антропогенному воздействию, обусловленному непосредственной близостью функционирующего горно-обогатительного комбината и складированием его вскрышных пород, а также чрезмерным выпасом скота. Данные факторы в результате привели к захламлению местности бытовым мусором, уничтожению растительности и нарушениям в почвенном покрове, изменению агрохимических свойств почв, загрязнению и накоплению в них тяжелых металлов (кадмий, цинк, медь) и мышьяка.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. Suleymanov R., Zaykin S., Suleymanov A., Abakumov E., Kostecki J. Changes in Basic Soil Physical Properties of Agrochernozyems Under No-till Conditions // Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Science. 2020. Volume 30. Additional Issue. P. 963-972. DOI: 10.29133/yutbd.754479 (Scopus);

2. Kamalova R.G., Suleimanov R.R., Zaikin S.V., Fatkhutdinova I.S. Dynamics of the main climatic indicators in the Trans-Ural steppe // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 817(1). 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012042>.

Статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК

1. Дорогая Е.С., Сулейманов Р.Р., Сайфуллин И.Ю., Миннегалиев А.О., Зайкин С.В. Эрозионная устойчивость целинного

чернозема и чернозема с классическим и No-till видами обработки в условиях моделируемого сильного ливня // Социально-экологические технологии. 2022. №2 (принята в печать);

2. Зайкин С. В., Бигильдина Э. Р., Зарипова Л. А., Валеева А. И. Влияние засушливости климата на выбор сортов пшеницы для территории республики Башкортостан. Астраханский вестник экологического образования. №1 (61) 2021. с. 97-103.;

3. Ларкина М.С., Сайфуллин И.Ю., Якимов М.С., Зайкин С.В., Латыпов Т.А. Составление климатических карт изучения атмосферных явлений и процессов на примере Республики Башкортостан: использование в системе профессионального образования // ЦИТИСЭ. 2020. № 3. С.205-216.

Статьи в журналах, входящих в Российский индекс научного цитирования

1. Сулейманов Р.Р., Зайкин С.В. Влияние нулевой обработки на агрофизические свойства агрочернозема в Зауральской степной зоне рискованного земледелия (Республика Башкортостан) // Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации. Материалы международной научно-практической конференции. Москва, 2020. С. 208-212.;

2. Зайкин С.В., Файрузов И.И. Влияние промышленных предприятий на гидролого-экологическую характеристику водотоков на примере бассейна реки Уфа // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: Материалы Международной научно-практической конференции. Сибай, 2020. С. 122-125.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

СБЗ – степна зона Башкирского Зауралья

СКО – среднеквадратическое отклонение

КУ – коэффициент увлажнения

СПК – сельскохозяйственный производственный комплекс

ПДК – предельно допустимая концентрация

ОДК – Ориентировочная допустимая концентрация

ТМ – тяжелые металлы