

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ДЕГРАДАЦИЮ ПОЧВ В АРИДНЫХ ЗОНАХ ПОВОЛЖЬЯ

© 2022 г. Д.И. Губарев, Н.Г. Левицкая, С.С. Деревягин

Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока
Россия, 410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7. E-mail: deneg2@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.07.2021. После доработки 14.10.2021. Принята к публикации 15.10.2021

Целью исследований было установить влияние изменения климата на процессы деградации почв и опустынивания земель в аридных регионах Поволжья. Материалом для исследований послужили данные наблюдений за 1971-2020 гг. по 20 метеорологическим станциям, а также результаты почвенно-экологического и гидрогеологического мониторинга на исследовательских стационарах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в преобладающих почвенно-климатических зонах на территории Саратовской области (лесостепь, степь, сухая степь и полупустыня). Выявлены признаки, сопутствующие аридизации, опустыниванию и деградации земель, дифференцировано по природным зонам. В частности, средняя годовая температура воздуха увеличилась по сравнению с климатической нормой на 1.0-1.2°C, наибольший рост наблюдался в августе – на 2.0-2.2°C. Средняя за теплый период температура поверхности почвы увеличилась на 1.1-1.5°C. Риски сильных атмосферных засух в течение всего вегетационного периода увеличились на всей территории, наиболее заметно – в полупустынной зоне (с 55% до 82%). Количество осадков в весенний период увеличилось на 10-25%, а в летний период сократилось на 23-30%. Границы полупустынной зоны сместились в северном и северо-западном направлении. Намечена тенденция изменения гидрологического режима зональных почв с непромывного на периодически промывной в 20-40% лет. Значения индексов аридности территории, рассчитанные за период с 2001 по 2020 гг., увеличились по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг. на 3-6%. Это является показателем нарастания аридности климата при его современном потеплении. В результате в слое почвы 0-0.3 м выявлены высокие темпы дегумификации (снижение относительного содержания гумуса на 21-35%) и изменения структурного состояния пахотного слоя и гранулометрического состава (снижение водопрочных агрегатов >0.25 мм с 39% до 31.8% и абсолютного содержания физической глины на 7.5%). При этом отмечается увеличение минерализации грунтовых вод с 2500 до 7000 мг/л, а также увеличение содержания в почвенном растворе токсичных солей. Так, содержание ионов Cl⁻, SO₄²⁻ в местах подпитки грунтовыми водами увеличилось с 0.27 до 0.56 мг/экв. и с 0.27 до 13.27 мг/экв. соответственно. Значения катионов также возросло: Ca²⁺ – с 0.30 до 4.41 мг/экв., Mg²⁺ – с 0.12 до 5.59 мг/экв., сумма K⁺ и Na⁺ – с 0.09 до 0.28 мг/экв. В пониженных элементах рельефа отмечено развитие процессов локального засоления и заболачивания.

Ключевые слова: изменение климата, аридизация, засуха, деградация, засоление.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-1-20-27

Климат всегда оказывал существенное влияние на человеческую деятельность. Особенно подвержены воздействию климата такие погодозависимые отрасли экономики, как сельское, лесное и водное хозяйство (Мельник и др., 2017; Zambon et al., 2018). Проблема адаптации человеческой деятельности к климатическим изменениям особенно актуальна для аридных регионов мира (Ковда, 2008; Мельник и др., 2017; Ташнинова, Ташнинов, 2016; Marthews et al., 2019). Изменения могут иметь отрицательные и положительные последствия с точки зрения результатов производства, и адаптироваться необходимо к обоим видам последствий (Мельник и др., 2017). Применительно к таким сельскохозяйственным регионам, как Поволжье, вышеописанные изменения связывают в большей степени с процессами деградации и опустынивания земель, приводящими к снижению их биологической продуктивности (Яшин и др., 2012; Rafferty, Pimm, 2020; Zolotokrylin et al., 2018).

При этом в большинстве исследований индикатором опустынивания является исключительно смена растительных сообществ на более ксерофитные и галофитные виды (Яшин и др., 2012; Пугачева, 2020), в т.ч. в связи с изменением гидрохимического состава грунтовых вод (Яшин и др., 2019). При этом вопросы изменения почвенных процессов остаются малоизученными. Выявление связи климатических факторов с процессами глубинного преобразования почвенного профиля с учетом региональных особенностей необходимо для прогнозирования дальнейшего вектора данных процессов и научно обоснованного управления развитием аридных территорий (Мельник и др., 2017; Zambon et al., 2018).

Таким образом, целью исследований было установить влияние изменения климата на процессы деградации почв и опустынивания земель в аридных зонах Поволжья.

Материалы и методы

В ходе исследований проанализированы данные наблюдений метеорологической службы (ФГБУ «Приволжское УГМС») за 1971-2020 гг. по метеорологическим станциям, расположенным в различных почвенно-климатических зонах в пределах Саратовской области: 1) лесостепная зона, чернозем обыкновенный (метеостанция Росташи, Аркадакский район, п. Росташи); 2) засушливая черноземная степь, чернозем южный (метеостанция Саратов ЮВ, г. Саратов); 3) сухая степь, тёмно-каштановые почвы (метеостанция Ершов, г. Ершов); 4) полупустыня, каштановые почвы (метеостанция Новоузенск, г. Новоузенск; рис. 1).

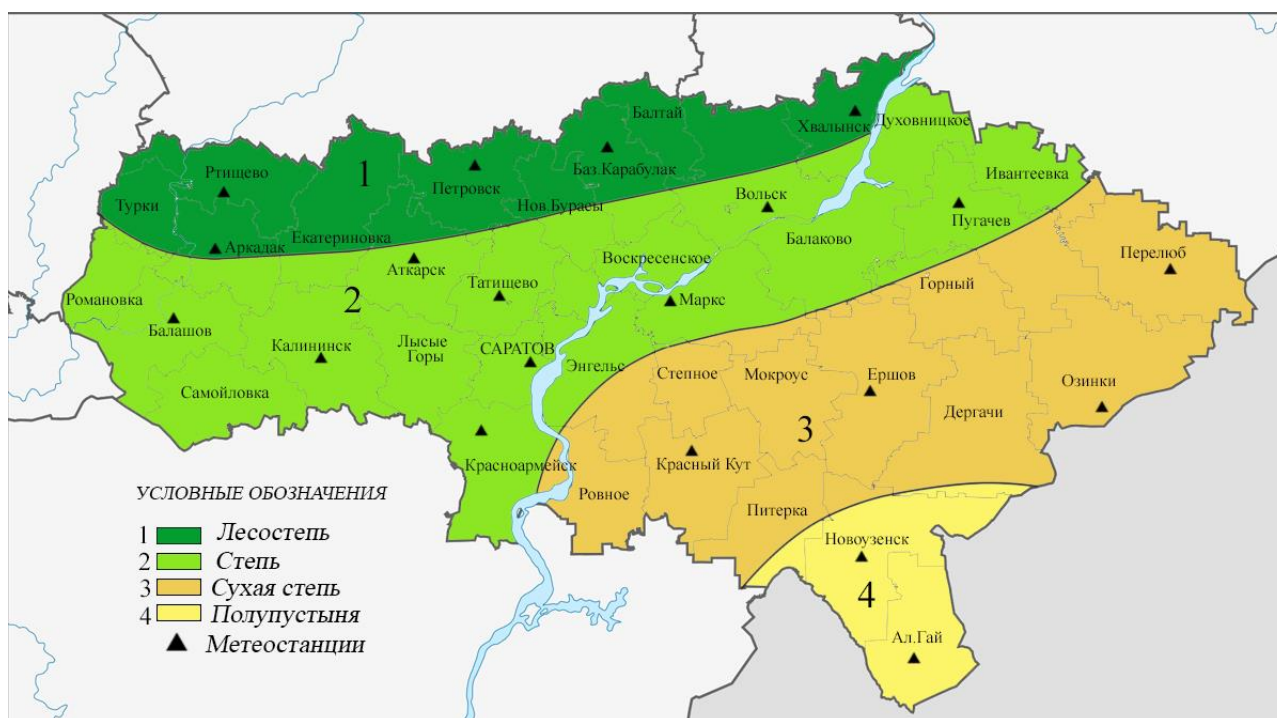


Рис. 1. Карта природных зон Саратовской области.

На основе средних многолетних данных за этот период были рассчитаны индексы аридности по 20 метеостанциям Саратовской области и уточнены границы аридных зон. Расчет индексов аридности (I_A) проводился по формуле В.С. Мезенцева, выражающей соотношение годовых сумм осадков и испаряемости, определяемой по сумме среднемесячных положительных температур воздуха за теплый период. Формула имеет следующий вид: $I_A = \Sigma P / (5.88 \Sigma t_{IV-X} + 260)$, где ΣP – годовая сумма осадков, Σt_{IV-X} – сумма среднемесячных температур воздуха за апрель-октябрь. Далее по работе Б.В. Виноградова с соавторами (1995) вычислялся нормализованный индекс аридности ($NIA = 1 - I_A$), и на основе разработанных авторами критериев NIA на территории Саратовской области были выделены следующие зоны климатической аридности: слабо аридная зона с NIA от 0.36 до 0.47 (лесостепные и черноземностепные районы Правобережья), умеренно аридная

зона с NIA=0.55-0.58 (северные и центральные районы Левобережья), средне аридная зона с NIA=0.60-0.66 (южные и юго-восточные районы Левобережья).

Параллельно проанализированы данные мониторинга почвенных условий, полученные авторами на стационарных тестовых полигонах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», расположенных в тех же зонах. Отбор проб для определения агрофизических параметров и содержания гумуса в почве проводили каждые 5 лет на 4 ключевых участках с сопоставимыми условиями по каждому полигону на зернопаровом севообороте в трехкратной повторности. Контролем для изучения почвенных условий являлись данные НИИ ЮжГИПРОЗем (Материалы ..., 1955-1994).

На следующем этапе исследований были выявлены тенденции изменения климата в период с 2001 по 2020 гг. В качестве контроля для характеристики современного климата по рекомендациям Всемирной метеорологической организации в качестве стандартного 30-летия использовали период с 1971 по 2000 гг. (Руководящие указания ..., 2017).

Гранулометрический состав почвы определялся пирофосфатным методом по Н.А Качинскому. Наблюдения за процессами промерзания почвы и уровнем грунтовых вод проводились по стандартным методикам на стационарах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Стационары включают сеть глубинных скважин, сельскохозяйственные угодья и участки с нетронутой растительностью. Химический анализ проб почвогрунтов и грунтовых вод проводился в химико-аналитической лаборатории ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Вычисления и визуализация данных произведены с помощью программы Microsoft Excel. Визуализация процесса заболачивания выполнена на базе космоснимков Google.Maps.

Результаты и обсуждение

Исследованиями установлено, что в Саратовской области за последние 20 лет средняя годовая температура воздуха увеличилась по сравнению с климатической нормой на 1.0-1.2°C. В начале периода интенсивного потепления (1981-2000 гг.) основной вклад в рост средней годовой температуры воздуха вносили зимние месяцы, а на современной волне потепления (2001-2020 гг.) наибольший рост средней месячной температуры воздуха наблюдается в августе – на 2.0-2.2°C. В остальные месяцы теплого периода рост средних месячных температур воздуха составил 0.9-1.3°C, в то время как прежде он не превышал 0.4-0.6°C, т.е. он увеличился в два раза. Средняя за теплый период температура поверхности почвы увеличилась на 1.1-1.5°C.

Наибольший рост температуры поверхности почвы отмечен в августе и составил 2.8-3.3°C. На фоне роста температуры воздуха и почвы в теплый период за 2001-2020 гг. испаряемость также увеличилась на 30-50 мм.

При неизменности годовой суммы осадков с 2001 по 2020 гг. относительно нормы стандартного 30-летия произошло их перераспределение по сезонам года с ростом их количества весной (на 10-25%) и повсеместным уменьшением количества летних осадков. Наибольшее снижение летних (на 30%) и зимних (на 10%) осадков отмечается в полупустынной зоне (табл. 1).

Таблица 1. Изменение сезонных и годовых сумм осадков по природным зонам за 2001-2020 гг. по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг., в %.

Природная зона	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Лесостепь	104	110	87	101	99
Засушливая черноземная степь	108	120	87	99	103
Сухая степь	107	125	88	98	101
Полупустыня	90	125	70	100	96

При сложившихся в регионе режимах выпадения осадков вероятность возникновения сильных атмосферных засух в течение всего периода с температурой воздуха выше 10°C наиболее существенно (с 55 до 82%) увеличилась в полупустынных районах.

В сухостепных районах повторяемость таких засух увеличилась с 41% до 50%, в черноземностепных – с 18% до 21%, а в лесостепных – с 11% до 14%. Наибольшие риски сильных атмосферных засух отмечаются в августе. При этом за 2001-2020 гг. их повторяемость в лесостепных районах увеличилась в 2.1 раза (с 27% до 56%), в черноземностепных – в 1.8 (с 33% до 61%),

в сухостепных – в 1.3 (с 60% до 78%), а в полупустынных – всего в 1.1 (с 83% до 94%). Рост повторяемости сильных засух с гидротермическим коэффициентом (ГТК) ≤ 0.5 свидетельствует о миграции границ полупустынной зоны в северном и северо-западном направлении более чем на 100 км на территорию сухостепной и степной природных зон (рис. 2).

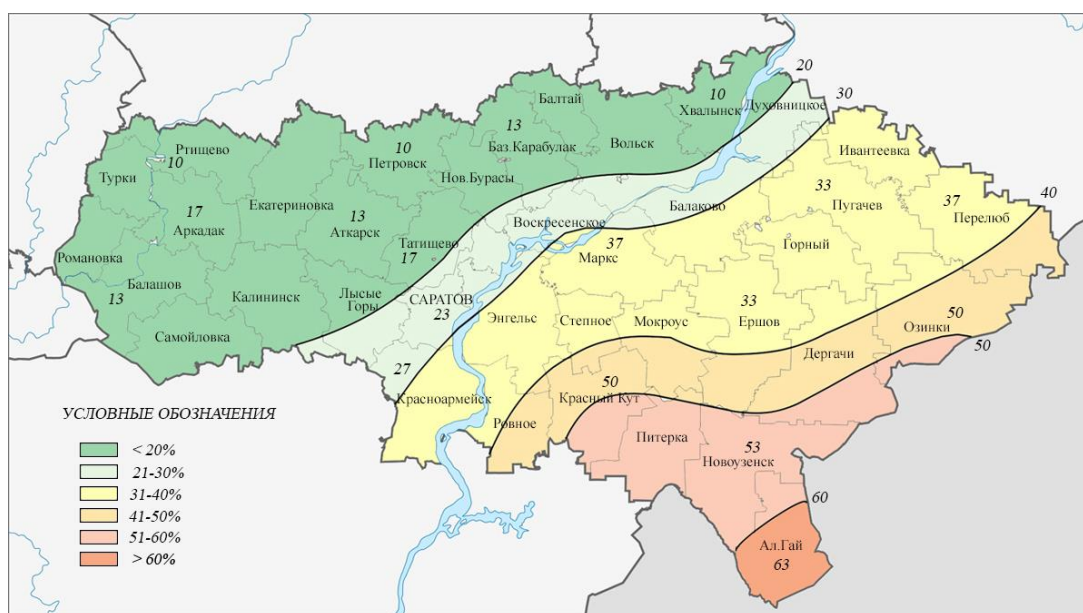


Рис. 2а. Карта повторяемости сильных засух с ГТК ≤ 0.5 за период с 1971 по 2000 гг.

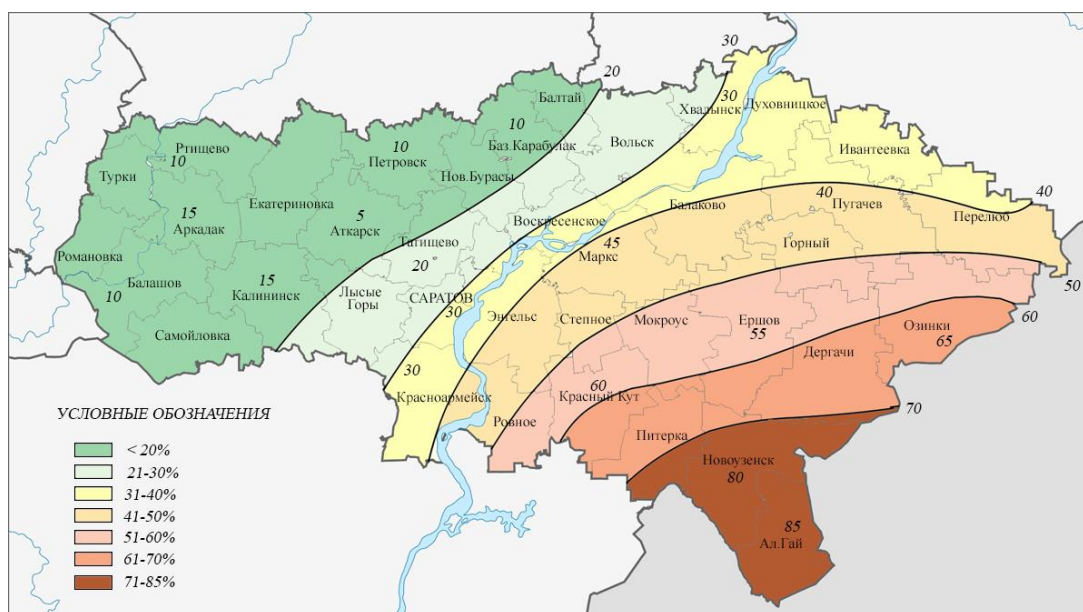


Рис. 2б. Карта повторяемости сильных засух с ГТК ≤ 0.5 за период с 2001 по 2020 гг.

Расчеты индексов аридности показали, что в годы сильных засух полупустынные и южные сухостепные районы Левобережья с NIA=0.71-0.78 попадают в зону сильной климатической аридности. Зона умеренной климатической аридности (с NIA=0.50-0.59) занимает всю территорию Правобережья, а центральные и северные районы Левобережья (с NIA=0.60-0.68) оказываются в зоне средней климатической аридности. В целом значения индексов аридности территории, рассчитанные за период с 2001 по 2020 гг., увеличились по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг. на 3-6%, что является показателем нарастания аридности климата при его современном потеплении.

Потепление климата сопровождается увеличением экстремальности выпадающих осадков. За летний период доля ливневых дождей со слоем осадков ≥ 10 мм увеличилось по сравнению с климатической нормой в 1.5 раза и составляет в среднем 35-40%. Активность ливневой эрозии на черноземах Поволжья в последний 30-летний период увеличилась в среднем в 4.5 раза. Особенно заметные потери мелкозема отмечаются на паровых полях. Средние потери почвы от ливневых осадков за период с 1972 по 2002 гг. на паровых полях составляли от 12 до 15 т/га, тогда как после 2003 года этот показатель превысил 24 т/га (Медведев и др., 2016).

Деградация почв связана не только с эрозионными процессами, но и с дегумификацией, и отмечается во всех агроландшафтах Поволжья, а также в большинстве районов Ростовской области (Пронько и др., 2018; Чернова и др., 2020). Более высокие темпы дегумификации наблюдаются в степной, сухостепной и полупустынной зонах. Анализ усредненных данных с тестовых полигонов показывает, что в пахотном слое в среднем за 60 лет содержание гумуса в зональных почвах сельскохозяйственного использования уменьшилось на 29.2% относительно показателей 1960 гг. (табл. 2).

Таблица 2. Динамика содержания гумуса в основных типах и подтипах почв Саратовской области по данным НИИ Южгипрозем и проводимым мониторинговым исследованиям.

Природная зона (типы и подтипы почв)	Изменение содержания гумуса, %							Потери гумуса за 60 лет, %
	1960 гг.	1970 гг.	1980 гг.	1990 гг.	2000 гг.	2010 гг.	2020 гг.	
Лесостепь (чернозем обыкновенный)	6.43	-0.3	-0.43	-0.43	-0.12	-0.04	-0.05	1.37
Засушливая черноземная степь (чернозем южный)	5.34	-0.44	-0.73	-0.21	-0.16	-0.13	-0.22	1.89
Сухая степь (тёмно- каштановые)	3.83	-0.37	-0.31	-0.08	-0.13	-0.21	-0.18	1.28
Полупустыня (каштановые)	2.6	-0.04	-0.05	-0.36	-0.13	-0.12	-0.09	0.79

Интенсивное использование пашни на стационарах ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» привело к переходу почв по гранулометрическому составу из легкоглинистых в тяжелосуглинистые разновидности. За 35 лет использования пашни количество физической глины (частицы ≤ 0.01 мм), содержащей наибольшее количество органического вещества, в слое почвы 0-30 см снизилось на 7.5% (с 54% до 46%). Также произошло снижение суммы водопрочных агрегатов >0.25 мм с 39% до 31.8%. Уменьшение содержания гумуса, негативное изменение гранулометрического состава, структурного состояния пахотного слоя чернозема южного можно рассматривать как основные индикаторы их агрофизической деградации.

Наибольшие темпы дегумификации отмечались в период с 1970 по 2000 гг. в лесостепной и засушливой степной зонах с более выраженным рельефом, что, вероятно, связано с эрозионными процессами при снеготаянии.

За период с 1971 по 2000 гг. в регионе наблюдалось 10 экстремально теплых зим, когда аномалия средней температуры зимнего сезона превысила 3.5°C . Повторяемость явления составила 33%, а в период с 2001 по 2020 гг. повторяемость экстремально теплых зим увеличилась до 40%. Самая тёплая зима за весь период инструментальных наблюдений отмечалась в 2019-2020 гг., когда средняя за зиму температура воздуха превысила климатическую норму на 8.4°C . Последняя экстремально холодная зима наблюдалась лишь в 1969 г.

Наращение температуры приземного слоя воздуха привело к росту количества экстремально теплых зим и снижению глубины промерзания почвы. Максимальное значение промерзания почвы за зиму так же, как и на начало снеготаяния, снизилось за последние 20 лет на 25-28 см относительно стандартного 30-летия и составило 57 и 41 см соответственно. В 2002, 2008, 2016, 2019, 2020 годах на

начало снеготаяния отмечались локальные участки не промерзшей почвы.

Данное явление привело к частичной смене водного режима. В лесостепной и черноземно-степной зонах промывной режим почвы формируется в 20-40% лет. При ослаблении промерзания в период интенсивного снеготаяния и прекращении стока талых вод большая часть талых вод, имеющих также сложный химический состав, проникает вглубь почвенного профиля, вызывая выщелачивание почв, изменение уровня грунтовых вод (УГВ) и их минерализацию (рис. 3).

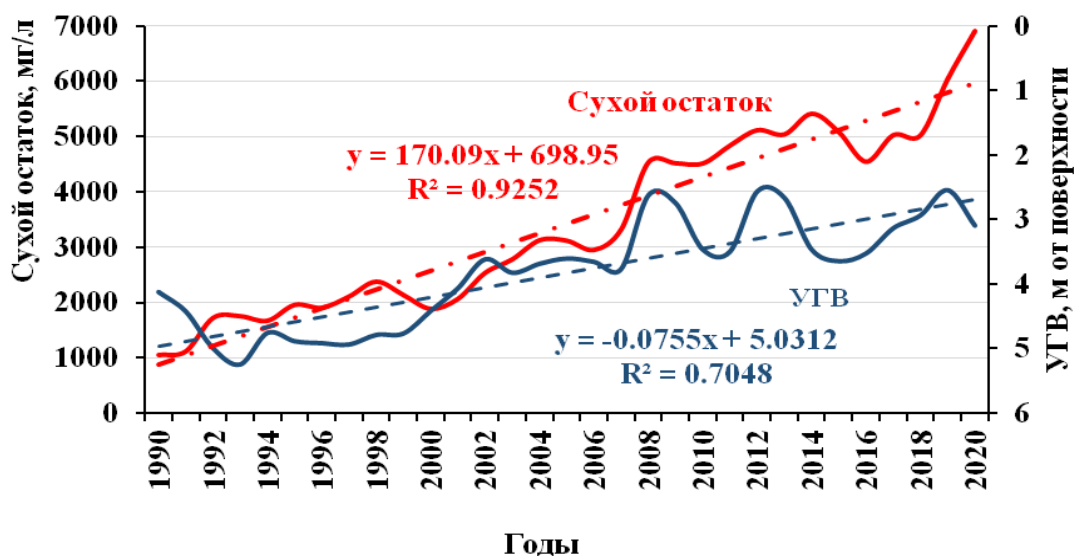


Рис. 3. Изменение УГВ и их минерализации с 1990 по 2020 гг.

Коэффициент корреляции между этими двумя показателями составляет -0.83 . Снижение промерзания почвы приводит к преобладанию вертикального водообмена грунтовых вод. При значительном увлажнении почвенного покрова в весенний и осенний периоды происходит объединение поверхностных атмосферных вод с высокоминерализованными грунтовыми. В теплый период года, когда испарение преобладает над инфильтрацией, происходит переотложение легкорастворимых солей в зоне аэрации, что в последующем вызывает сезонное засоление почв. По содержанию основных катионов и анионов эти почвы превосходят почвы, не подвергающиеся сезонному переувлажнению (водораздельные участки или близкие к ним). Так, по содержанию Cl^- и SO_4^{2-} их значения в местах подпитки грунтовыми водами выросли относительно более возвышенных участков с 0.27 до 0.56 и с 0.27 до 13.27 мг/экв. соответственно. Значения катионов также возросло: Ca^{2+} — с 0.30 до 4.41 мг/экв., Mg^{2+} — с 0.12 до 5.59 мг/экв., сумма K^+ и Na^+ — с 0.09 до 0.28 мг/экв. В период с превалированием влаги выпадающих осадков над испарением происходит растворение накопленных солей и их перенос в грунтовые воды, отчего повышается их минерализация. Подобная закономерность отмечается также на юге Ростовской области (Никаноров и др., 2018).

Увеличение минерализации с 1000 до 7000 мг/л делает грунтовые воды непригодными к хозяйственному использованию, может существенно повлиять на почвообразование и биологические процессы в зоне их влияния, отрицательно сказывается на растительном покрове и его продуктивности (Ковда, 2008). Поиск вероятных причин данного явления требует дальнейшего изучения. Одной из таких причин может быть изменение гидрологического режима почв.

В отрицательных формах рельефа подъем УГВ приводит к появлению гидроморфных и полугидроморфных условий. В дальнейшем это создает большие проблемы при обработке участков, а также вызывает их зарастание галофитной и гидрофитной растительностью (рис. 4).

Выводы

1. Риски сильных атмосферных засух в течение всего вегетационного периода увеличились на всей территории, наиболее заметно — в полупустынной зоне (с 55% до 82%). Количество осадков в

весенний период увеличилось на 10-25%, а в летний период сократилось на 23-30%. Границы полупустынной зоны сместились в северном и северо-западном направлении более чем на 100 км. Гидрологический режим почв изменился с непромывного на периодически промывной в 20-40% лет.



Рис. 4. Деградация почвенного покрова в отрицательных формах рельефа.

2. Значения индексов аридности территории, рассчитанные за период с 2001 по 2020 гг., увеличились по сравнению с климатической нормой за 1971-2000 гг. на 3-6%, что является показателем нарастания аридности климата при современном его потеплении.

3. Климатические изменения привели к высоким темпам дегумификации (снижение относительного содержания гумуса на 21-35%) и изменению структурного состояния пахотного слоя и гранулометрического состава (снижение водопрочных агрегатов >0.25 мм с 39% до 31.8% и абсолютного содержания физической глины на 7.5%) в слое почвы 0-0.3 м.

4. Отмечено увеличение минерализации грунтовых вод с 1000 до 7000 мг/л, что делает их непригодными для хозяйственного использования. Поиск вероятных причин данного явления требует дальнейшего изучения. Одной из таких причин может быть изменение гидрологического режима почв.

5. В пониженных элементах рельефа отмечено развитие процессов локального засоления и заболачивания, в т.ч. увеличение содержания в почвенном растворе ионов Cl^- и SO_4^{2-} в местах подпитки грунтовыми водами с 0.27 до 0.56 мг/экв. и с 0.27 до 13.27 мг/экв. соответственно. Значения катионов также возросло: Ca^{2+} – с 0.30 до 4.41 мг/экв., Mg^{2+} – с 0.12 до 5.59 мг/экв., сумма K^+ и Na^+ – с 0.09 до 0.28 мг/экв.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках темы Государственного задания № 0751-2019-0008 «Разработать теоретические основы структурирования агроландшафтов, адаптации их к климатическим и геоморфометрическим особенностям территории с целью сохранения и оптимизации использования земельных ресурсов для получения экономически обоснованного уровня качественной сельскохозяйственной продукции».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов Б.В., Сорокин А.Д., Федотов П.Б. 1995. Картографирование климатической аридности территории Калмыкии // Биота и природная среда Калмыкии / Ред. И.С. Зонн, В.М. Неронов. М.: ТОО «Коркис». С. 253-258.
- Ковда В.А. 2008. Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука. 415 с.
- Материалы крупномасштабного почвенного обследования Саратовского, Аркадакского, Ершовского и Новоузенского районов Саратовской области. 1955-1994. Саратов: НИИ ЮЖГИПРОЗем. 440 с.
- Медведев И.Ф., Левицкая Н.Г., Макаров В.З. 2016. Результаты мониторинга эрозийных процессов на черноземах Поволжья // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. Т. 16. № 3. С. 142-146.
- Мельник В., Яцухно В., Денисов Н., Николаева Л., Фалолеева М. 2017. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата. Минск-Женева. 84 с. [Электронный ресурс <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticeskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf> (дата обращения 18.05. 2021)].
- Никаноров А.М., Гарькуша Д.Н., Зубков Е.А., Барцев О.Б., Минина Л.И. 2018. Гидрохимический режим и качество грунтовых вод застроенных территорий на Юге Ростовской области // Водные ресурсы. Т. 45.

№ 2. С. 171-178.

- Пронько В.В., Журавлев Д.Ю., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф.* 2018. Деградация черноземных почв в агроландшафтах степного Поволжья // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. Монография в 5 томах / Ред. В.Г. Сычев, Л. Мюллер. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. С. 298-302.
- Пугачева А.М.* 2020. Климатические флуктуации сухих степей и их роль в процессе демутации // Аридные экосистемы. Т. 26. № 3 (84). С. 14-22. [*Pugacheva A.M.* 2020. Climatic Fluctuations in Dry Steppes and Their Role in the Demutation Process // *Arid Ecosystems*. Vol. 10. No. 3. P. 181-187.]
- Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. 2017. Женева: ВМО. № 1203. 32 с.
- Ташинова Л.Н., Ташинов А.А.* 2016. Почвы аридных зон Калмыкии в новой классификации // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. № 67. С. 70-73.
- Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С., Литвинов Ю.А.* 2020. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. Т. 15. № 4 (57). С. 99-113.
- Яшин И.М., Васнев И.И., Ворников Д.В., Петухова А.А.* 2012. Экологическое состояние и деградация черноземов Приволжской возвышенности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. № 1. С. 41-52.
- Яшин И.М., Васнев И.И., Рамазанов С.Р.* 2019. Экогеохимическая оценка водной миграции веществ в черноземах Приволжской возвышенности // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. № 5. С. 20-33.
- Marthews T.R., Dadson S.J., Jones R.G., Otto F.E.L., Allen M.R., Mitchell D., Guillod B.P.* 2019. The Impact of Human-Induced Climate Change on Regional Drought in the Horn of Africa // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. Vol. 124. No. 8. P. 4549-4566.
- Rafferty J.P., Pimm S.L.* 2020. Desertification. *Encyclopedia Britannica* [Электронный ресурс <https://www.britannica.com/science/desertification> (дата обращения 07.06.2021)].
- Zambon L., Ferrara A., Salvia R., Mosconi E.M., Fici L., Turco R., Salvati L.* 2018. Rural Districts Between Urbanization and Land Abandonment: Undermining Long-Term Changes in Mediterranean Landscapes // *Sustainability*. No. 10. P. 1159.
- Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B.* 2018. Bioclimatic Subhumid Zone of Russian Plains: Droughts, Desertification, and Land Degradation // *Arid Ecosystems*. Vol. 8. No. 1. P. 7-12. [*Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Титкова Т.Б.* 2018. Биоклиматическая субгумидная зона на равнинах России: засухи, опустынивание и (или) деградация // *Аридные экосистемы*. Т. 24. № 1 (74). С. 11-17.]