

УДК 631.48

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ
И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ**

© 2024 г. З.Г. Залибеков*, С.А. Мамаев*, М.Е. Котенко**, П.Д. Мусалаева*

*Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, 367010, ул. Ярагского, д. 75. E-mail: bfdgu@mail.ru

**Дагестанский государственный технический университет
Россия, Дагестан, 367026, г. Махачкала, просп. Имама Шамиля, д. 70. E-mail: kukonya21@mail.ru

Поступила в редакцию 19.03.2024. После доработки 30.03.2024. Принята к публикации 01.04.2024.

Почвенный покров как системное образование характеризуется формированием свойств разного таксономического уровня и признаками структурной организации с иерархической подчиненностью. Как целостное природное образование, почвы обладают ресурсоведческим потенциалом, подвергающимся активному воздействию факторов физико-географической среды. Отдельные свойства почвы и их целостное функциональное назначение могут отличаться во времени и пространстве. Такие свойства формируются в различных регионах, отражая влияние местных локальных условий. Типичные представители почв с признаками засоления, исключая реализацию продукционных процессов, формируются в аридных условиях (Прикаспийская низменность, дельта Волги). Различие целевого функционирования почв в регионе выражается в наличии особой естественной комбинации свойств, которыми не обладают компоненты типичного почвенного профиля (Неуструев, 1915). Это связано с тем, что при определении классификационных признаков засоленных почв процессы, происходящие между отдельными горизонтами и имеющие обратимый характер, остаются до настоящего времени неучтенными. Возможность обратимости и восстановления физико-химических свойств до уровня показателей, характерных климатическому режиму с продолжительностью геологических отрезков времени, для многих типов почв до настоящего времени остается в тени (водно-растворимая часть карбонатов, силикатов, органического вещества).

Мы считаем целесообразным применение системного подхода при анализе временных и сезонных функций различных типов почв (особенно засоленных) в условиях опустынивания и аридной деградации.

Ключевые слова: функционирование, засоление почвы, Терско-Кумская низменность, луговые солончаковые почвы, реализация продукционных ресурсов, гумусовый горизонт, миграционные комбинации, сезонные изменения, сухой остаток солей, короткая вегетация растений.

DOI: 10.24412/1993-3916-2024-3-37-48

EDN: KZOLKO

Объектом исследования являются почвы и условия их образования в Терско-Кумской низменности и северо-восточной части дельты Терека. Рассматриваемая территория представляет морскую, практически бессточную, слабонаклонную на северо-восток равнину. Развитие почвенного покрова протекает в условиях аридного климата под влиянием интенсивного антропогенного воздействия. Функционирующие почвы рассматриваемого региона развиваются в условиях полупустынного климата на засоленных почвообразующих породах. Установлено также многообразие факторов, достоверно связанных с целевым функционированием почв и выявлением приоритетных способов определения продукционных ресурсов. Исследования, проведенные в аридных условиях одного из регионов Прикаспийской низменности, Терско-Кумской низменности, дали возможность определить роль приоритетных процессов, связанных с сезонным засолением – рассолением корнеобитаемого слоя почвы (0-50 см). В пределах этого слоя сформированы и генетические признаки, используемые при классификации почв (Акимцев, 1957; Акаев, 1996).

Основной фактор почвообразования – засоленные почвообразующие породы – при ведущей роли влияния условий выраженного микрорельефа способствуют формированию засоленных почв, целевое функционирование которых связано с солончаковым процессом и его комбинациями, сменяющимися во времени и пространстве (Драйпер, Смит, 1986).

Важной особенностью условий почвообразования в регионе является недостаточное количество выпадающих осадков (250-300 мм, коэффициент увлажнения $K = 0.3-0.4$) и высокая температура летних месяцев. Преобладающая часть осадков (60-70%) выпадает в летний и летне-осенний периоды. Грунтовые воды залегают на глубине 0.5-2.0 м и сильно минерализованы (40.120 г/л). Минерализация их увеличивается с переходом от обводняемой части русла р. Терек (2.5-5.0 км) к необводняемой береговой полосе Каспийского моря (Мирзоев, 1992).

Особенностью почвенного покрова является формирование разной степени засоления при интенсивном накоплении солей на разных глубинах, проявляющихся в качестве элемента целевого функционирования. Рассматриваемые луговые солончаковые среднесуглинистые почвы, где скопление солей отмечается в поверхностном горизонте 0-20 см и глубже, в слое 20-50 см, испытывают существенные изменения. Морфологический профиль дифференцирован на горизонты, однороден по гранулометрическому составу и имеет диагностические признаки используемых при генетической классификации почв (Докучаев, 1985). Признаки накопления солей в виде белых прожилок и пятен обнаруживаются с глубины 40-50 см. Во второй полуметровой толще содержание солей увеличивается, стабилизируя миграционные процессы. Переход ко второму метровому слою профиля сопровождается уменьшением солей с изменением типа засоления (Сапанов и др., 2015). Растительность представлена галофитами, преимущественно эфемерово-петросимониево-картанными ассоциациями. Выделены параметры приоритетных показателей: морфологические свойства горизонта максимального содержания солей как основного признака целевого функционирования засоленных почв. Дифференциация признаков солончатого горизонта, выделенного в качестве приоритетного, означает наличие условий формирования функций почвенных горизонтов на уровне функций гумусового горизонта, представляющего центр координации свойств всего профиля. Остальные компоненты почвенного профиля принимают участие в почвообразовании в качестве экстенсивных факторов. Поэтому отдельные типы почв и специфика их свойств требуют разработку методов реализации и освоения потенциальных ресурсов почвенного покрова (Суховеева, 2022; Багачев, Иманкулов, 1986).

Целостное функционирование почвы характерно полнопрофильным разностям на уровне типового подразделения. Для сохранения устойчивости и продуктивности рекомендуется выявить приоритетные факторы, используя принципы системного анализа. В аридных условиях Прикаспийской низменности приоритетными в отношении почв являются засоленность, солонцеватость, слитость и степень увлажнения корнеобитаемого слоя. Однако, как показывает опыт проведенных исследований, при оценке и разработке мероприятий по борьбе с опустыниванием учету функциональной целевой роли почв с применением системного подхода уделяется недостаточное внимание. Это связано с тем, что при характеристике свойств почв рассматриваются в первую очередь показатели поверхностного гумусово-аккумулятивного горизонта с привлечением общепринятых данных по содержанию гумуса, питательных веществ, структурного состояния горизонта и т.д. Выбор фоновых показателей и их дополняющая роль связаны с особенностями потенциального плодородия почв и признанием гумусового горизонта определяющим целевое функционирование. Экспериментальные исследования по основным типам почв региона показали, что ведущим фактором целевого функционирования засоленных почв является степень засоления, химизм засоления различных глубин почвенного профиля. Особое значение имеет выявление соотношения токсичных солей и распределение их по профилю (Беляев, Кулик, 2022).

Выявление функциональной роли почв и их изменения во времени, как целевого природного образования, дало возможность применить системный подход в разработке мероприятий по возрождению засоленных почв, деградированных природных кормовых угодий (Каштанов, 1999).

Результаты и обсуждение

Системный подход в определении целевого функционирования засоленных почв позволил выявить на первом этапе конкурирующую роль горизонта В, представляющего корнеобитаемую

толщу профиля. Применение системного подхода достоверно устанавливает отсутствие влияния гумусово-аккумулятивного горизонта при незначительном количестве солей в накоплении фитомассы соляноквых сообществ. Достоверно выявляется возможность практического использования засоленных почв на основе термического фактора, оказывающего влияние на состояние теплового режима горизонтов. Приоритет целевого функционирования луговых солончаковых почв определяется температурой и содержанием солей в вертикальном профиле слоя 0-20 см (Фридланд, 1986).

Предлагаемые нами результаты разработок по целевому функционированию почв направлены на раскрытие тех ресурсов, которые формируются в отдельные сезоны года циклически функционирующими миграционными комбинациями в свойствах почв. Такие же комбинации и сочетания в аридных условиях формируются при переходе теплого сухого периода к переменному увлажненному как результат влияния климатического фактора. В аридных регионах Прикаспийской низменности, где более 70% территории заняты пастбищными угодьями, концентрация целевого использования почв является фундаментальной основой воспроизводства их ресурсов (Прокопьева и др., 2021).

В качестве первого этапа работ проведен сравнительный анализ солевого состава почв с определением классификационного уровня факторов образования солевого горизонта. При этом выявлены спектры комбинации свойств в средней части профиля, определяющих направление почвообразовательных процессов по отдельным сезонам. Этот процесс имеет большое значение для определения целевого функционирования засоленных почв, отличающихся качественными показателями и являющихся одним из критериев развития прикладных основ борьбы с опустыниванием. Наиболее важным из факторов целевого функционирования является формирование существенных различий в соотношении миграционной динамики солей в луговых солончаковых и лугово-каштановых солончаковых почвах среднесуглинистого гранулометрического состава (табл. 1).

Таблица 1. Процессы, определяющие целевое функционирование почв Терско-Кумской низменности.

№	Тип почв	Фактор, определяющий целевое функционирование	Глубина проявления		% соотношение миграционной массы солей
			Процесс	Степень	
1	Светло-каштановые	классификационный	стабильный, зональный	фоновая	< 10
2	Лугово-каштановые солончаковые	классификационный	стабильный, интразональный	фоновая	10-15
3	Луговые солончаковые	засоление глубже 1.5 м	миграция солей	интенсивная	25-30
4	Луговые карбонатные	засоление глубже 100 см	миграция солей глубже 100 см	периодическая	25-30
5	Солончаки луговые	классификационный	миграция солей в слое 0-50 см	интенсивная кратковременная	15-20
6	Солончаки типичные	классификационный	миграция солей в слое 0-100 см	интенсивная	5-10
7	Лугово-болотные карбонатные	глубина грунтовых вод 0-100 см	периодическое заболачивание	фоновая	подтопление

Согласно эколого-биосферной концепции почвообразования об определяющей роли гумусово-аккумулятивного горизонта как ведущей составной части профиля, определяющая роль генетических свойств сохраняется (Ковда, 1975; Залибеков и др., 2019).

Эволюционное развитие почвенного покрова приводит к появлению свойств, характерных целевому функционированию почв. Они также становятся классификационными признаками,

учет которых имеет большое значение. Чем интенсивнее протекают миграционные процессы, тем большую значимость приобретают классификационные признаки. Солончаки типичные, солончаки луговые характеризуются общей тенденцией развития засоления как фактора, определяющего целевое функционирование. Можно предположить, что при залегании горизонта максимального накопления солей в подгумусовом слое миграционные процессы могут эволюционировать в прогрессирующей динамике. Относительно степени засоления как фактора проявления целевого функционирования следует указать на ее зависимость от состава и содержания легкорастворимых солей, содержащихся глубже верхнего полуметрового слоя (Засоленные почвы России, 2006). Важной характеристикой рассматриваемого фактора является процентное соотношение миграционной массы солей, где максимальная величина их соответствует луговой солончаковой почве. Минимальные показатели миграции солей свойственны светло-каштановым карбонатным почвам (Соколов, 1985; Резников, 1999), основной причиной которого является незасоленность почвообразующих пород и отсутствие влияния грунтового увлажнения. Из разнообразия условий почвообразования фактором целевого функционирования почв является солончаковый процесс, проявляющийся в высшей стадии развития. Проявление стадийности засоления происходит с накоплением легкорастворимых солей в верхнем метровом слое почвенного профиля. Определяющим этапом является развитие солончакового процесса до уровня типовых признаков луговой солончаковой среднесуглинистой почвы (Керимханов, 1972).

Выявлен определяющий фактор целевого функционирования луговой солончаковой почвы, где горизонт максимального содержания солей располагается глубже 0-30 см. Картографический материал показывает, что луговые солончаковые почвы занимают северо-западную часть региона площадью более 100 тыс. га и представляют собой низкопродуктивные пастбищные угодья. Их поверхностный слой не засолен, а содержание солей остается неизменным в миграционных процессах. Реакция других типов почв показывает ведущую роль функций в формировании целевого функционирования, засоленности всего профиля, включая поверхностный гумусовый горизонт. Показатели плодородия и продукционных ресурсов соответствуют уровню содержания питательных веществ в освоенных вариантах, используемых под сельскохозяйственные культуры. В этой связи засоленные почвы независимо от количества легкорастворимых солей, содержащихся в слое 0-30 см, могут быть отнесены к группе целевого функционирования, включая разновидности почв, отличающиеся высокой степенью засоления. Относительно солончаков луговых, солончаков типичных следует отметить сезонный характер изменений функционирующего состояния под влиянием миграции солевых потоков (Борисов, Алексеев, 2020).

Функции солевых миграций по вертикальному профилю изменяются по отдельным сезонам: нисходящие потоки – в осенне-зимний и ранневесенний периоды, восходящие – в летний период. Их продолжительность определяет целевое функционирование почв, степень проявления которого зависит от климатических условий и гранулометрического состава генетических горизонтов почв. Установлено, что продуктивность и проективное покрытие почв кормовыми растениями с короткой вегетацией не зависят от свойств горизонтов, сформированных глубже слоя 0-30 см (Петров, 2017).

В качестве первого этапа работ в данном направлении проведен сравнительный анализ почвенных, климатических показателей осенне-зимнего, зимнего, зимне-весеннего периодов, соответствующих аридным условиям с показателями вегетационного периода растений, выращиваемых в гумидных условиях северных широт. При этом выявлен целый ряд комбинаций этих показателей, определяющих направление почвообразовательных процессов зимнего периода.

Наиболее важной характеристикой является соотношение нисходящих и восходящих потоков влаги по почвенному профилю, определяющее тип водного режима. Если признаками промывного типа водного режима в гумидных условиях северных широт служат современные почвообразовательные процессы, то для аридных условий преобладание нисходящих токов влаги над восходящими характеризует сезонные миграции, обусловленные циклически повторяющимися элементами климата (Роде, 1968; Залибеков, 2021).

Такая же специфика характерна и для соотношения испарения к величине выпадающих атмосферных осадков. Преобладание нисходящего тока влаги над восходящим и количества осадков – над испарением в зимний и зимне-весенний периоды определяют общность гидротермического режима аридных и гумидных условий, а также обуславливает биологическую

равнозначность климатических ресурсов.

Комбинации почвенных свойств аридных земель функционируют в условиях ограниченного зимним периодом времени и имеют временный обратимый характер. В гумидных условиях северных широт этот показатель является одним из основных признаков общего направления почвообразовательного процесса (Ковда, 1994).

Важное значение для оценки агроклиматических показателей регионов аридных земель имеет продолжительность периода с суммой среднесуточных температур $> 10^{\circ}\text{C}$ и гидротермическим коэффициентом (ГТК) более единицы (табл. 2). При этом использованы данные основных метеостанций с указанием календарных сроков начала, окончания и продолжительности этих показателей (Агроклиматический справочник ..., 1973). Эти показатели являются определяющими при выращивании кормовых культур и усовершенствовании технологии использования пастбищ. Обработанные данные метеостанций охватывают полосу, расположенную в пределах широт: южная – Ленкорань – 39° с.ш., северная – Яшкуль (Калмыцкая АССР) – 45° с.ш. (Бананова, 1986).

Таблица 2. Показатели периода с суммой активных температур и ГТК > 1 (по данным метеостанции аридной зоны).

Метеостанция	Северная широта, градусы	Период с температурой $> 10^{\circ}\text{C}$ и ГТК > 1		
		Календарные сроки	Продолжительность в днях	Сумма температур $> 10^{\circ}\text{C}$
Махачкала (Россия)	43	28.03-04.05 20.09-20.10	80	1300
Дербент (Россия)	42	24.03-08.05 22.09-25.10	78	1252
Яшкуль (Республика Калмыкия)	45	01.04-10.05 22.09-22.10	70	1000
Ленкорань (Азербайджанская Республика)	39	15.03-25.04 30.09-30.10	78	1260
Самарканд (Узбекистан)	40	15.03-20.04 01.10-04-11	69	1100
Китаб (Узбекистан)	39	19.03-29.09 28.09-05.11	77	1280
Ташкент (Узбекистан)	41	05.04-10.05 20.09-22.10	62	1000
Чимкент (Казахстан)	42	06.09-12.05 15.09-10.10	63	1100

Протяженность полосы с севера на юг составляет 500-600 км. Сумма активных температур в этой полосе колеблется в небольшом диапазоне, продолжительность периода с суммой активных температур 1200° и более составляет 80-90 дней (Кулик, 2020).

Данные по регионам, расположенным в полосе 65° с.ш. (Архангельск) и 61° с.ш. (Котлас-Сыктывкар), включают сумму среднесуточных активных температур и продолжительность периода с температурой $> 10^{\circ}\text{C}$. Календарные сроки и продолжительность периода, отвечающего требованиям растений эфемерного типа развития в аридных условиях южных широт и гумидных условиях северных широт, близки по показателям и в целом укладываются в пределах диапазона, рекомендованного агротехникой. Отличительной чертой рассматриваемого периода по зонам являются различия в сроках и характере распределения легкорастворимых солей по сезонам года.

А) В аридной зоне период вегетации растений распадается на две части – предзимний и после зимний – и прерывается низкой температурой зимнего периода. В почвах наблюдается перераспределение солей (особенно токсичных форм NaCl и KCl), оказывающих рассаливающее положительное влияние на формирование целевого функционирования засоленных почв.

Б) В гумидных увлажненных условиях комбинации миграционной динамики протекают в

интервале сроков, находящихся между весенними и осенними сроками. В регионах северных широт отсутствуют процессы засоления-рассоления, и миграция осуществляется в ограниченном масштабе. Вертикальной миграцией представлены в нисходящем и восходящем направлениях водные потоки в южных засушливых регионах. Общая продолжительность вегетационного периода, определяющая целевое функционирование почв, составляет 80-90 дней.

Таблица 3. Содержание легкорастворимых солей в луговой солончаковой среднесуглинистой почве (в числителе – мг-экв., в знаменателе – %).

Глубина см	Горизонт	Сухой остаток %	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
Весна (17.04.1985)								
0-18	A	0.20	<u>0.44</u> 0.027	<u>1.12</u> 0.039	<u>0.67</u> 0.032	<u>0.30</u> 0.006	<u>0.20</u> 0.002	<u>1.73</u> 0.040
18-28	B	0.88	<u>0.38</u> 0.023	<u>7.31</u> 0.256	<u>4.81</u> 0.231	<u>1.60</u> 0.032	<u>1.00</u> 0.012	<u>9.80</u> 0.228
35-45	BC	2.62	<u>0.24</u> 0.015	<u>14.96</u> 0.524	<u>21.92</u> 1.053	<u>3.00</u> 0.06	<u>4.50</u> 0.054	<u>29.60</u> 0.681
58-68	Сд	3.43	<u>0.12</u> 0.007	<u>31.11</u> 1.089	<u>19.83</u> 0.952	<u>13.50</u> 0.270	<u>9.75</u> 0.117	<u>27.81</u> 0.639
90-100	Сд	1.39	<u>0.14</u> 0.008	<u>2.74</u> 0.098	<u>1.42</u> 0.068	<u>5.00</u> 0.100	<u>5.00</u> 0.060	<u>9.85</u> 0.226
Лето (30.07.1985)								
0-18	A	0.18	<u>0.26</u> 0.016	<u>1.39</u> 0.046	<u>0.18</u> 0.009	<u>0.35</u> 0.007	<u>0.10</u> 0.001	<u>1.31</u> 0.030
18-28	B	1.19	<u>0.62</u> 0.037	<u>3.70</u> 0.119	<u>14.39</u> 0.691	<u>1.00</u> 0.020	<u>1.00</u> 0.012	<u>3.45</u> 0.079
35-45	BC	2.08	<u>0.28</u> 0.017	<u>24.00</u> 0.840	<u>9.85</u> 0.473	<u>4.00</u> 0.80	<u>11.0</u> 0.132	<u>19.13</u> 0.4339
58-68	Сд	3.83	<u>0.42</u> 0.025	<u>27.00</u> 0.945	<u>17.17</u> 1.304	<u>6.50</u> 0.130	<u>6.50</u> 0.078	<u>41.56</u> 0.955
90-100	Сд	2.02	<u>0.020</u> 0.18	<u>18.00</u> 0.630	<u>21.04</u> 1.010	<u>5.60</u> 0.100	<u>10.50</u> 0.126	<u>23.4</u> 0.648
Осень (18.09.1985)								
0-18	A	0.21	<u>0.21</u> 0.013	<u>2.74</u> 0.095	<u>0.66</u> 0.320	<u>0.65</u> 0.011	<u>1.03</u> 0.012	<u>2.03</u> 0.046
18-28	B	1.38	<u>0.80</u> 0.048	<u>14.00</u> 0.490	<u>4.71</u> 0.226	<u>1.50</u> 0.030	<u>1.50</u> 0.018	<u>16.51</u> 0.0379
35-45	BC	2.40	<u>0.28</u> 0.017	<u>30.80</u> 1.078	<u>11.14</u> 0.534	<u>3.00</u> 0.060	<u>10.50</u> 1.26	<u>28.72</u> 0.660
58-68	Сд	3.60	<u>2.8</u> 0.174	<u>35.00</u> 1.215	<u>22.28</u> 10.69	<u>9.00</u> 0.180	<u>16.00</u> 0.192	<u>35.14</u> 0.808
90-100	Сд	1.93	<u>0.34</u> 0.020	<u>19.00</u> 0.665	<u>11.14</u> 0.534	<u>2.00</u> 0.40	<u>10.50</u> 0.126	<u>12.98</u> 0.413

Продолжительность осенне-зимнего периода и высокая степень увлажнения почв создают благоприятные условия для растений с коротким вегетационным периодом в условиях сильнозасушливого климата. Выявлена схожесть в параметрах условий холодного периода аридной зоны (по накоплению влаги) с теплым периодом гумидных условий. На этой основе формируется теоретическая концепция сохранения целевого функционирования почв в безводных условиях полупустыни. Установленная закономерность подтверждает наличие возможностей реализации продукционных процессов засоленных почв. Оценка степени влияния засоления на целевые функции

почв проводится по результатам анализов на содержание легкорастворимых солей и карбонатов в луговой солончаковой почве по отдельным сезонам (Горохова, Чурсин, 2021). Практическое значение концепции сводится к реализации ресурсов для выращивания на деградированных пастбищах кормовых растений, используя ниши образуемых миграционными процессами комбинаций (табл. 3; Зонн, 1990; Горбов и др., 2022).

Закономерности изменения отдельных свойств почв, связанные с миграционными комбинациями солей, считаем целесообразным выделить в качестве приоритетного показателя, определяющего основную целевую функцию засоленных почв. Выявление роли этого фактора представляется возможным при определении его функций для выращивания кормовых растений с применением системного подхода исследований. Изучение почвенных ресурсов с поверхностным залеганием солевого горизонта свидетельствует о ведущей роли генетического происхождения и факторов фонового почвообразования. Для подробной характеристики накопления солей оценка почвы проводится по химизму засоления и миграции солевых скоплений с применением общепринятых методов анализов (Аринушкина, 1978).

Содержание сухого остатка солей в слое 0-20 см не превышает показателей слабой степени засоления. Содержание бикарбонатов HCO_3 в весенний период составляет 0.44 мг-экв./100 г почвы, в летний период их показатель немного снижается. Максимальное количество солей в составе почвы приходится на долю хлоридов натрия, что связано с повышением содержания щелочных металлов и высокими температурами летнего периода. Содержание хлористых солей заметно увеличивается в летний период, что обусловлено их высокой подвижностью в условиях усиления засушливости климата. В осенний период содержание хлор-иона достигает максимальных величин в слое 0-18 см – 274 мг-экв./100 г почвы. Сухой остаток максимальной величины достигает 1.3% в осенний период. Глубина залегания соленосного горизонта и характер распределения солей соответствуют уровню плодородия и мелиоративного состояния почв (Зонн, 1946).

Общая тенденция увеличения содержания солей с глубиной сохраняется в течение года, подтверждая высокую степень засоления почвообразующих пород. Кроме того, в химизме засоления, где преобладают щелочные металлы, принимают участие карбонатные ионы CO_3 и HCO_3 . Анионы органических кислот, где основная роль принадлежит карбонатной щелочности, подвергаются изменению под влиянием аридного климатического режима. Карбонатная щелочность в составе достигает максимальной величины и присутствует в нейтральных и щелочных почвах, усиливая процессы аридизации и опустынивания (Бабаев, 1989; Буданцев и др., 2004).

Анализ химизма засоления почв в сезонной миграции солей при засушливом климатическом режиме показывает изменение щелочности почв в разные сезоны года. В периоды с высокой степенью увлажнения почв (ранневесенний, осенний) щелочность почв по содержанию Na^+ и K^+ остается без изменений. При переходе к летнему сезону отмечается тенденция увеличения. Данное явление по географическим ареалам выходит за рамки региона и зависит от многих факторов. В этой связи рекомендуется провести дополнительные эксперименты по выяснению механизма образования щелочных почв как одного из элементов системного изучения процессов опустынивания (Кендал, Стюарт, 1973).

Прикладная значимость проведенных исследований базируется на учете сезонных процессов рассоления корнеобитаемой толщи почвенного профиля. Установлено, что продолжительность нисходящих потоков почвенных растворов, способствующих рассолению (выносу) солей, и сумма активных температур в регионе соответствуют требованиям кормовых растений с короткой вегетацией развития. Для иллюстрации наличия таких возможностей приводятся данные, характеризующие требовательность отдельных культур к сумме активных среднесуточных температур и продолжительности вегетационного периода (табл. 4).

Требовательность растений к сумме суточных температур $> 10^\circ\text{C}$ и продолжительность вегетации, включая стадию накопления фитомассы, соответствуют растениям эфемерового типа развития, имеющим широкий ареал распространения. Почвенный покров, солевой режим которого находится в состоянии, удовлетворяющем требования кормовых растений, предлагается определить как одну из целевых комбинаций функционирования засоленных почв региона. Эфемерная растительность (мятник луговой, мартук пшеничный) развивается в почвенных условиях с параметрами свойств ранневесеннего и осенне-зимнего периодов. Временное функционирующее

состояние, создаваемое в профиле луговых солончаковых почв, рекомендуется оценивать по их целевому функционированию (Залибеков, 2021).

Таблица 4. Сумма активных температур и продолжительность вегетации некоторых кормовых растений.

Кормовое растение	Сумма суточных температур 10°C	Продолжительность в днях		
		Вегетация	Фаза накопления фитомассы	Появление 1-го листа после посева
Рапс озимый	1100-1400	80-100	50-80	15-18
Горчица белая	1000-1200	70-100	60-90	20-30
Клевер красный	900-1300	70-100	60-90	20-30
Овес посевной	1000-1400	60-90	50-70	30-40
Ячмень короткоостый	900-1200	70-90	–	–
Арктофила бурая	800-1200	50-60	–	–
Горох красноцветный	900-1500	80-110	60-90	25-30

Выявленные различия в состоянии засоленных почв коренным образом отличаются от элементов целевого функционирования. Это достоверно определяет целесообразность изменения почв с применением системного подхода. Сезонное рассоление почв и миграционные процессы выступают в качестве методической основы оценки продукционных ресурсов (Баламирзоев, 1997).

Учитывая значение потенциала изученных ресурсов, была предпринята попытка применить методы системного изучения для реализации предложений, направленных на освоение продукционных ресурсов почв. Обработка данных метеостанций по продолжительности периода с гидротермическим коэффициентом ≥ 1 и среднесуточной температурой $> 10^\circ\text{C}$ позволила выбрать кормовые растения, вегетационный период которых укладывается в рамках параметров, установленных для целевого функционирования засоленных почв (рис.).

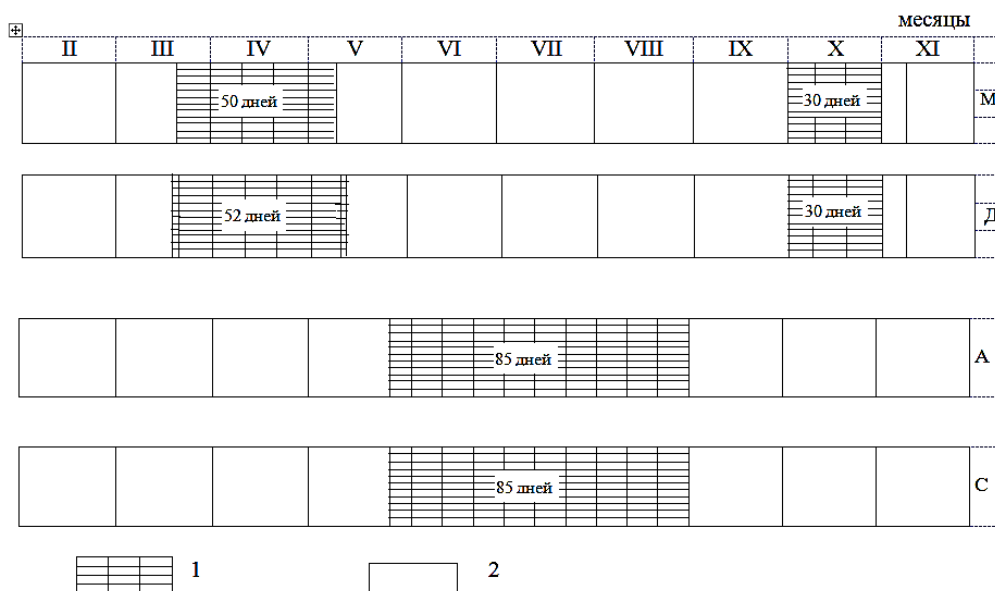


Рис. Продолжительность с ГТК > 1 и температурой $> 10^\circ\text{C}$. Условные обозначения: 1 – период с ГТК ≥ 1 и температурой $> 10^\circ\text{C}$; 2 – период с избытком и недостатком влаги, М – Махачкала, Д – Дербент, А – Архангельск, С – Сыктывкар.

Сравнительный анализ продолжительности благоприятных климатических условий, необходимых для вегетации растений увлажненного осенне-зимнего и зимне-весеннего сезонов

южных регионов и теплого переменного влажного и северных регионов, показывает их соответствие по указанным параметрам с разницей в их распределении в течение года. Для регионов, расположенных севернее 60° с.ш., гидротермический коэффициент составляет $K = 1.2-1.4$, а для регионов южной полосы (Махачкала, Дербент) $K = 0.25-0.40$. Схема распределения периодов и их продолжительности основана на использовании запасов почвенной влаги, накопленной в рассолительный ранневесенний и зимний периоды (Салманов, 1966).

Процессы засоления-рассоления почв по отдельным сезонам, особенно в поверхностном слое, характеризуются локальной сезонной спецификой. Корнеобитаемый слой 0-20 см содержит незначительное количество солей с заметным повышением с глубиной. В весенний период гумусовые горизонты имеют сульфатно-хлоридное и сульфатное засоление, с относительно низким содержанием солей. Растительный покров представлен злаково-эфемеровыми сообществами с участием солончаковой полыни (Яруллина, 1983).

Смена типов миграционных комбинаций солей, включая динамику накопления почвенной влаги, создает элементы плодородия почв в течение периода прохождения нисходящих токов влаги растений с продолжительностью 60-90 дней. Такая продолжительность периода с температурой $> 5^{\circ}\text{C}$ способствует наступлению полной физиологически зрелой фазы развития кормовых растений: рапса озимого, клевера красного, гороха красноцветного и др.

Эксперименты по изучению сезонной ротации рапса озимого подтвердили реальность формирования условий среды, соответствующих требованиям отдельных кормовых культур. Основным фактором формирования выявленного ресурса и продолжения вегетации растений является накопление корневой массы эфемеров и разнотравья при рассолении поверхностного слоя 0-20 см и формирование рассолительного миграционного процесса. При этом накапливается подземная фитомасса разнотравья, видов петросимонии и солянки многолетней. Происходит ярусное распределение подземной фитомассы и увеличение продолжительности вегетации, что является одним из элементов целевого функционирования почв.

Влияние ярусного распределения корневой системы растений на формирование среды обитания растительных сообществ раскрывается при условии применения системного подхода в изучении горизонтов функциональных свойств почв (Фридланд, 1965).

Смена условий весеннего периода летними сопровождается увеличением легкорастворимых солей в корнеобитаемом слое 0-30 см до величины сухого остатка – 2.08%, бикарбонатов HCO_3 – 0.62 мг-экв., хлора – 23.37 мг-экв. Высокое содержание солей хлора, соответствующее нижней половине корнеобитаемого слоя, сезонным изменениям не подвергается. Летний период с принятыми параметрами отличается значительной продолжительностью (105-120 дней), в это время происходит медленное и стабильное увеличение общего содержания солей. Этот фактор выделяется как определяющее условие целевого функционирования засоленных почв региона (Зонн, 1978).

Качественные изменения, происходящие в составе солей, проявляются в увеличении ионов Cl и SO_4 за счет подтяжки из нижних глубин. Слой, где в весенний период преобладают сульфаты, на глубине 0-30 см к летнему периоду становится хлоридным. Выявляются варианты миграции солей и слабовыраженная тенденция их накопления в слое 0-27 см. При этом увеличивается сухой остаток и хлористые соли Na и K . С процессами миграции отдельных ионов аккумуляция их солей приводит к стабилизации высокой степени засоления. Состав засоленных почв аридных территорий характеризуется явлением миграции отдельных ионов с нисходящими и восходящими токами, которые зависят от степени растворимости солей. Можно полагать, что различия, формирующиеся в видовом составе растений после перехода к летнему периоду, связаны с изменением мигрирующего количества анионов, катионов и сухого остатка солей (Розанов, 1984).

Выводы

Рассмотрены принципы системного подхода целевого функционирования засоленных почв, выявлены способы реализации продукционных ресурсов с характеристикой роли сезонной миграции легкорастворимых солей (Розанов, 1984).

1. Применение системного подхода при анализе изменений, происходящих в профиле луговых солончаковых почв под влиянием сезонной миграции легкорастворимых солей по почвенному профилю, дало основание определить функции отдельных горизонтов. Классификационный уровень

изменений по качественно-количественному составу солей сохраняется в диапазоне различных типового разделения с формированием самостоятельного генетического типа почв, характеризующего зональные условия (Вернадский, 1954).

2. При системном анализе целевого функционирования засоленных почв разной степени достоверно выявлена ведущая роль переходного морфологического горизонта профиля и химизма засоления почв аридных условий. Критериальную значимость здесь имеет отсутствие влияния гумусово-аккумулятивного горизонта в накоплении фитомассы и обеспечении растений питательными элементами. При этом формируются функции, благоприятные для создания среды обитания живых организмов – плодородия почв.

3. Наиболее важной характеристикой является отношение величин нисходящих и восходящих токов влаги по почвенному профилю, определяющие динамику солончакового процесса. Преобладающая роль последнего, обусловленная восходящими токами воды, в верхнем полуметровом слое накапливает влагу, потребляемую растениями эфемерного типа развития с коротким периодом вегетации. Формируется процесс экологического высвобождения системных ресурсов отдельных генетических горизонтов. Миграция водно-солевых потоков и эффект рассоления, образуемый комбинациями солей, создают запасы воды в качестве нового дополнительного источника водного ресурса.

4. Закономерности изменения отдельных компонентов солевого состава почв, связанные с миграционными комбинациями солей, целесообразно выделить в качестве приоритетного показателя целевой функции засоленных почв. Выявление роли этого фактора представляется возможным с определенными функциями при возделывании кормовых растений и применении системного подхода исследований. Динамика развития почвенного покрова при поверхностном залегании солевого горизонта показывает ведущую роль генетического происхождения почв и факторов природного почвообразования. Содержание сухого остатка солей в поверхностном слое сохраняется ниже уровня слабого засоления в течение круглого года. Максимальное количество в составе солей приходится на долю хлоридов Na и K, что связано с увеличением щелочных металлов под влиянием высоких температур летнего периода. Высокая подвижность хлористых соединений Na^+ и K^+ в летний сезон достоверно объясняется активной их подвижностью в условиях засушливого климата (Любимова, 2022).

5. Различия в свойствах почвенных горизонтов по химизму засоления сводятся к изменению соотношения ионов Cl^- и SO_4^{2-} , перемещению солевых растворов по вертикальному профилю с нисходящими и восходящими токами воды. Нисходящие токи приурочены к зимне-весенним и весенним периодам с выносом солей глубже корнеобитаемой толщи. Процесс протекает в течение 60-70 дней, достаточных для накопления наземной фитомассы кормовыми растениями с коротким периодом вегетации. Восходящие токи протекают в летний, летне-осенний периоды со значительной протяженностью во времени (100-120 дней) с накоплением легкорастворимых солей. Целевое функционирование почв и продуктивность оцениваются по величине водных ресурсов, накопленных в период прохождения нисходящих токов влаги.

6. Нисходящие токи влаги луговой солончаковой почвы обуславливаются количеством осадков < 200 мм, температурой $> 10^\circ\text{C}$, продолжительностью периода с гидротермическим коэффициентом ≥ 1 . Это способствует увеличению мощности сезонно промытых атмосферными осадками слоев с переходом хлоридного типа засоления к хлоридно-сульфатному, сульфатному. Горизонт максимального содержания солей поднимается до нижней границы корнеобитаемого слоя почв, способствуя формированию рассоленной толщи профиля с благоприятными свойствами в виде продукционных ресурсов. Реализация возможностей, выявленных при системном изучении ресурсов, связана с возделыванием кормовых растений фитомелиорантов для улучшения деградированных пастбищных земель Прикаспийской низменности.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках госзадания Института геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН «Геоэкологические особенности Кавказско-Каспийского региона: ландшафты, геосфера, почвенный покров», регистрационный номер НИОКТР АААА-А-17-117021310202-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматический справочник по ДАССР. 1973. Ленинград: Гидрометеиздат СССР. 84 с.
- Акаев Б.А. 1996. Гидрогеологическое строение Дагестана // Физическая география Дагестана. М.: Школа. С. 32-68.
- Акимцев В.В. 1957. Почвы Прикаспийской низменности Кавказа. Ростов-на-Дону: Ростовский-на-Дону государственный университет имени В.М. Молотова. 282 с.
- Ариунушкина Е.В. 1978. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ. 488 с.
- Бабаев А.Г. 1989. Историко-географический анализ динамики пустынных экосистем // Проблемы освоения пустынь. № 5. С. 18-25.
- Багачев В.П., Иманкулов М.Ж. 1986. Методы пространственного анализа засоленных почв Казахской ССР. Алма-Ата: Наука. 186 с.
- Баламирзоев М.А. 1997. Качественная оценка почв Прикаспийской низменности Дагестана // Экологические проблемы Прикаспийской низменности. Вып. III. Махачкала. С. 35-49.
- Бананова В.А. 1986. Методические указания по изучению процессов опустынивания аридных территорий Калмыцкой АССР. Элиста: КГУ. С. 59-67.
- Борисов А.В., Алексеев О.А. 2020. К вопросу о времени и процессах возникновения солонцового процесса в почвах пустынных степей юга-востока Русской равнины // Аридные экосистемы. № 1. С. 33-42. [Borisov A.V., Alekseev A.O. 2020. Timing and Causes of the Origin of the Solonetz Process in the Desert-Steppe Soils of the Southeastern Russian Plain // Arid Ecosystems. Vol. 10. No. 1. P. 27-35.]
- Беляев А.И., Кулик К.Н. 2022. Агроресомелиорация – основа экологически безопасного и экономически эффективного сельского хозяйства // Научно-агрономический журнал. № 2. С. 7-12.
- Буданцев Н.В., Морозова Е.В., Котельникова К.С. 2004. К оценке целевого функционирования почв // Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов России. Т. 2. С. 252.
- Вернадский В.И. 1954. Очерки по геохимии // Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. 245 с.
- Горбов С.Н., Безуглова О.С., Скрипников П.Н., Тищенко С.А. 2022. Растворимое органическое вещество в почвах Ростовской агломерации // Почвоведение. № 7. С. 894-909.
- Горохова И.И., Чурсин И.К. 2021. Карбонаты в орошаемых почвах Прикаспийской низменности // Аридные экосистемы. № 2. С. 90-97. [Gorokhova I.N., Chursin I.N. 2021. Carbonates in Irrigated Soils of the Caspian Depression // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 2. P. 193-199.]
- Докучаев В.В. 1985. К вопросу о соотношении между живой и мертвой природой // Сочинения. Т. 2. С. 89-97.
- Драйпер Н., Смит Г. 1986. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика. 366 с.
- Залибеков З.Г. 2021. Потенциал биопродуктивных ресурсов почв, источники возобновления // Аридные экосистемы. № 1. С. 100-105. [Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Biarslanov A.B., Asgerova D.B., Magomedov R.A. 2021. Potential for Bioproduction Resources in the Soil Cover: Their Use and Sources of Renewal // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 1. P. 11-17.]
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Асгерова Д.Б. 2019. Об использовании подземных пресных вод засушливых регионов // Аридные экосистемы. Т. 25. № 2. С. 3-12. [Zalibekov Z.G., Mamaev S.A., Biarslanov A.B., Magomedov R.A., Asgerova D.B., Galimova U.M. 2019. The Use of Fresh Groundwater from Arid Regions of the World in the Fight against Land Desertification // Arid Ecosystems. Vol. 9. No. 2. P. 77-84.]
- Засоленные почвы России. 2006 / Ред. Л.Л. Шишков, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ, Академкнига. 854 с.
- Зонн С.В. 1946. Опыт естественноисторического районирования Дагестана. М.: Изд-во АН СССР. С. 89-99.
- Зонн С.В. 1978. Вопросы преобразования почв Дагестана в связи с интенсификацией их освоения // Биологическая продуктивность почв дельтовых экосистем. Махачкала. С. 68-74.
- Зонн И.С. 1990. О подходах к технологии опустынивания // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 20-28.
- Каштанов А.М. 1999. Деграция почв, опустынивание и меры борьбы по их предотвращению в адаптивно-ландшафтном земледелии // Материалы международной научной конференции «Опустынивание и деграция почв». М. С. 66-73.
- Кендал М., Стюарт А. 1973. Статические выводы и связи. М.: Наука. 180 с.
- Керимханов С.У. 1972. Закономерности эрозионных процессов в сухих горных экосистемах // Вопросы рационального использования почв Дагестана. Махачкала: Дагкнигиздательство. С. 42-56.
- Ковда В.А. 1975. Биосфера почвы и их использование // Доклады на I Пленарном заседании X Международного конгресса почвоведов // Почвоведение. № 1. С. 6-14.
- Ковда В.А. 1994. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука. 127 с.
- Кулик К.Н. 2020. Оценка, картографирование, мониторинг и прогноз опустынивания // Антропогенная деграция ландшафтов и экологическая безопасность. Сборник лекций международных учебных курсов. М.-Волгоград: ЮНЕП/ЦМП/ВНИАЛМИ. С. 142-151.
- Любимова И.Н. 2022. Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата // Почвоведение. № 10. С. 1290-1301.
- Мирзоев Э.М.-Р. 1992. Способ конденсации парообразной влаги в почве. А.с. № 1732829.
- Неуструев С.С. 1915. О почвенных комбинациях равнинных и горных стран // Почвоведение. № 1. С. 62-73.

- Петров В.И.* 2017. Особенности опустынивания и лесомелиорация пастбищ в Прикаспии // Материалы Международной научной конференции «Опустынивание и деградация почв». М. С. 386-392.
- Прокопьева К.О., Конюшкова М.В., Новикова Н.М., Соболев И.В.* 2021. Цифровая фитоиндикация засоления почв в сухой степи (Республика Калмыкия) // Аридные экосистемы. № 2. С. 68-81.
- Резников Н.И.* 1999. Практико-организационная работа по восстановлению деградированных кормовых угодий // Материалы международной научной конференции «Опустынивание и деградация почв». М. С. 386-398.
- Роде А.А.* 1968. Водный режим и баланс целинных почв полупустынного комплекса // Водный режим почв и водный баланс целинных почв полупустынного комплекса полупустыни. М.: Наука. 244 с.
- Розанов Б.Г.* 1984. Аридизация суши и антропогенное опустынивание // Почвоведение. № 12. С. 65-75.
- Салманов А.Б.* 1966. Краткая агрохимическая характеристика лугово-степной почвы междуречья Акташ-Сулак // Вопросы почвоведения, агрофизики и агрохимии. Т. 3. С. 150-160.
- Сапанов М.К., Сиземская М.Л., Ахмедов К.М.* 2015. Этапы освоения и современное использование засушливых земель северного Прикаспия // Аридные экосистемы. № 3. С. 81-91. [*Sapanov M.K., Sizemskaya M.L., Akhmedenov K.M.* 2015. Reclamation Stages and Modern Use of Arid Lands in the Northern Caspian Region // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. P. 188-193.]
- Соколов И.А.* 1985. Экология почв, как раздел Докучаевского генетического почвоведения // Почвоведение. № 10. С. 89-97.
- Суховеева О.Э.* 2022. Поступление органического углерода в почву с послеуборочными остатками сельскохозяйственных культур // Почвоведение. № 6. С. 737-747.
- Фридланд В.М.* 1965. О структуре (строении) почвенного покрова // Почвоведение. № 4. С. 32-40.
- Фридланд В.М.* 1986. Проблемы географии генезиса и классификации почв. М.: Наука. 245 с.
- Яруллина Н.А.* 1983. Биологическая продуктивность почв дельты Терека. М.: Наука. 86 с.