

2
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

<http://www.elmag.uran.ru>



2017
ГОД ЭКОЛОГИИ
В РОССИИ

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УрО РАН



ФОТО ВЕЛЬМОВСКОГО П.В.

2017

УЧРЕДИТЕЛИ

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УрО РАН

© Ю.М. Нестеренко, 2017

УДК 556.322 (470.5)

Ю.М. Нестеренко

ЗОНА АЭРАЦИИ И ВОДНЫЙ РЕЖИМ В СТЕПЯХ ЮЖНОГО УРАЛА ПРИ ГЛУБОКОМ ЗАЛЕГАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Оренбургский научный центр УрО РАН, Отдел геоэкологии, Оренбург, Россия

Цель. Исследование строения зоны аэрации и водообмена в ней в степях Южного Урала в естественных и антропогенно измененных условиях.

Материалы и методы. Объектом исследования принята зона аэрации степной зоны Южного Урала, её строение и водный режим в различных геологических условиях под разными формами рельефа и сезонов года в естественных и антропогенно измененных условиях. Применялись полевые и лабораторные методы исследования с использованием литературных данных и фондовых материалов.

Результаты. Зона аэрации степной зоны имеет большую мощность, что обусловлено особенностями аридного климата. В ней выделены подзоны активного влагообмена, транзита и капиллярной каймы при общей их мощности более 5 м и достигающей нескольких десятков метров. Интенсивность и направление водообмена в зоне аэрации зависит от геологического ее строения, рельефа местности и вида антропогенного использования.

Заключение. Дано описание гидрогеологических разрезов зоны аэрации районов Южного Урала и выявлены особенности формирования верховодок и питания подземных вод в аридных климатических условиях под различными сельскохозяйственными угодьями и под разными формами рельефа. Основное питание подземных вод через многометровую зону аэрации и образование верховодок происходит в понижениях рельефа, в наибольшей мере под лесными полосами и в наименьшей – под выбитой пастбой целиной. Исследования водообмена в зоне аэрации выявили возможность его регулирования и управления направлением и темпами движения влаги в ней.

Ключевые слова: зона аэрации степной зоны, строение зоны аэрации, влияние вида землепользования на питание подземных вод, водообмен в зоне аэрации.

Y. M. Nesterenko

AERATION AREA AND WATER REGIME IN THE STEPPES OF THE SOUTH URAL IN THE DEEP OF THE GROUND OF UNDERGROUND WATERS

Orenburg Scientific Center, UrB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

Objective. Investigation of the structure of the zone of aeration and water exchange in it in the steppes of the Southern Urals in natural and anthropogenically changed conditions.

Materials and methods. The research area is a zone of aeration of the steppe zone of the Southern Urals, its structure and water regime under various geological conditions under different forms of relief and seasons of the year in natural and anthropogenically changed conditions. Field and laboratory methods of research using literature data and stock materials were used.

Results. The aeration zone of the steppe zone has a large capacity, which is due to the peculiarities of the arid climate. It identifies the subzones of active moisture exchange, transit and capillary fringe with a total power of more than 5 m and reaching several tens of meters. The intensity and direction of water exchange in the aeration zone depends on its geological structure, the terrain and the type of anthropogenic use.

Conclusion. A description of the hydrogeological sections of the zone of aeration of the regions of the Southern Urals is given, and features of the formation of perch and groundwater

feeding in arid climatic conditions under various agricultural lands and under different forms of relief are revealed. The main supply of groundwater through a multi-meter aeration zone and the formation of streams occurs in relief depressions, most under the forest belts and in the smallest under the embankment of the virgin land. Studies of water exchange in the aeration zone have revealed the possibility of its regulation and control of the direction and rate of movement of moisture in it.

Keywords: zone of aeration of the steppe zone, structure of the aeration zone, influence of the land use type on groundwater feeding, water exchange in the aeration zone.

Введение

Зона аэрации находится между атмосферой и первым от поверхности водоносным горизонтом и является связующим звеном с верхними этажами земной коры, а через них и с более глубокими ее горизонтами. Через нее в земную кору поступают атмосферные осадки с растворенными в них природными и техногенными газами и химическими соединениями, формируя основную часть подземных вод инфильтрационного генезиса. Через нее же идут основные техногенные воздействия на земную кору и ее воды. Через зону аэрации осуществляется и обратный процесс воздействия земной коры на атмосферу и условия жизни на Земле.

По своему функциональному значению зону аэрации можно назвать «кожным покровом» Земли, через который идет тепло- водо- и газообмен земной коры и подземной гидросферы с атмосферой. Ниже зоны аэрации, взаимодействуя с ней, движутся подземные воды, являющиеся, по выражению В.И. Вернадского, главным геологом.

В связи с размещением зоны аэрации на границе основных сфер Земли ее изучение в различных науках носит преимущественно сопутствующий прикладной характер. Гидрогеологи рассматривают ее как зону инфильтрационного питания и испарения подземных вод, почвоведы – как основу образования почв и их качества, геологи – как место поисков полезных ископаемых, строители – как несущую основу инженерных конструкций и сооружений. Аналогичный подход проявляется к зоне аэрации и во многих других науках и сферах деятельности человека.

Экологизация деятельности человека и многих естественных наук ставит вопрос фундаментального комплексного изучения процессов, идущих в природе и, особенно, в буферных ее зонах, к которым относится зона аэрации. Особую значимость приобретает зона аэрации в условиях вододефи-

цитных территорий, где она имеет большую мощность и более сложное строение. Здесь усиливается ее влияние на формирование поверхностных и подземных вод, на ход развития природы.

От процессов влагопереноса в зоне аэрации зависит количество и качество подземных вод, влагообеспеченность почвенного слоя и его плодородие. В зоне аэрации интенсивно идут процессы формирования геологической среды с участием атмосферы, воды, живой и косной материи. Миграция компонентов химического состава в зоне аэрации протекает при относительно больших градиентах влаги и температуры. Здесь активно, часто одновременно, идут процессы выноса компонентов солей и органических соединений в более глубокие слои земной коры и к ее поверхности, отложения и переотложения.

Цель настоящей работы – исследование строения зоны аэрации и водообмена в ней в степях Южного Урала в естественных и антропогенно измененных условиях.

Материалы и методы

Объектом исследования явилась зона аэрации степной зоны Южного Урала, её строение и водный режим в различных геологических условиях под разными формами рельефа и сезонов года в естественных и антропогенно измененных условиях. Применялись полевые и лабораторные методы исследования с привлечением литературных данных и фондовых материалов.

Результаты и обсуждение

В степной зоне Южного Урала мощность зоны аэрации изменяется в больших пределах. В поймах рек, возле озер и ручьев ее мощность изменяется от 0 до 5-10 метров, быстро увеличиваясь по мере удаления от открытой водной поверхности. В степной зоне в пойме рек, занимающей менее 5% территории региона, грунты зоны аэрации имеют достаточное увлажнение и промывной режим в весенний период и первую половину лета за счет поверхностного притока талых вод. Но во вторую половину лета растительность высокой поймы часто испытывает недостаток влаги. В пойменных участках произрастает лесная и луговая растительность и складываются благоприятные условия для формирования дерновых почв и черноземов выщелоченных. Здесь, через почвы и грунты зоны аэрации в поймах рек, происходит интенсивное поступление органических соединений в подземные воды. Пойменные участки легко подвергаются техногенному загрязнению. Сложена

пойма обычно четвертичными отложениями.

За пределами пойм мощность зоны аэрации в степных вододефицитных территориях имеет большую мощность (более 5 м), что снижает на большей их части величину испарения грунтовых вод. В условиях приподнятого рельефа на Общем Сырте при глубоком залегании грунтов с малыми коэффициентами фильтрации подземные воды могут находиться на глубинах (50 м и более). На участках водораздельных пространств в сухостепной зоне безводные скважины имеют глубину до 300 м и более.

На рисунке 1 представлено геологическое строение и фильтрационные свойства грунтов зоны аэрации в основных районах Южного Урала [1]. Они типичны для его степной зоны. Наиболее распространенными грунтами их зоны аэрации являются глины и суглинки, часто с прослоями и линзами легких суглинков, супесей и песков.

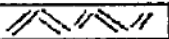
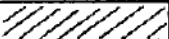
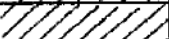
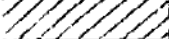
На Общем Сырте под суглинистыми черноземами южными залегают глины и суглинки мощностью 20-50 м (рис. 1-а). Первый водоносный горизонт залегает под ними в песчаниках и аргиллитах на глубинах 20-50 м и более. Его статический уровень часто устанавливается в выше расположенных глинах и суглинках.

На созданном нами Покровском опытном участке, расположенном в южной части Общего Сырта, на глубине 3-10 м преобладают грунты с коэффициентом фильтрации (K_f) уменьшающимся с глубиной от 0.05 м/сут до 0.005-0.0001 м/сут. (рис. 1-а). Гидрогеологи обычно относят глинистые грунты к водоупорам и по ним фиксируют кровлю водоносных горизонтов [2, 3, 4]. В степных районах с малыми величинами инфильтрационного питания подземных вод (до 30-40 мм/год) и малыми коэффициентами фильтрации грунтов ($K_f = 0.005-0.0001$ м/сут), годовая фильтрация через грунты зоны аэрации может составить 40 мм/год, т.е. равняться или превышать годовую величину инфильтрационного питания. Наблюдения на Покровском опытном участке и расчеты показали, что инфильтрующиеся с поверхности воды достигают расположенного на глубине 35 м первого водоносного горизонта через 3 года, а гидродинамический напор проявляется через 5-6 месяцев.

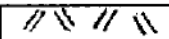
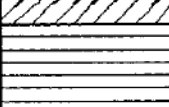
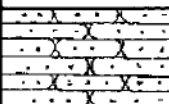
В условиях равнинного рельефа при наличии напора в глинистых грунтах уровень подземных вод может подниматься на 8 м и более, создавая условия для засоления почв (рис. 1-д).

№№ слоя	Литологи- ческий разрез	Краткое описание пород	Глуби- на за- лега- ния слоя, м	Мош- но- сть слоя, м	Кф, м/сут	Ста- тиче- ский уро- вень, м
1	2	3	4	5	6	7

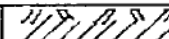
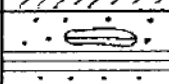
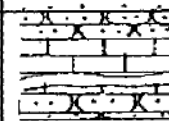
а

		Растительный слой	0,3	0,3	0,16-0,38	
2		Суглинки тяжелые	0,8	0,5	0,002-0,083	
3		Суглинки средние	5	4,2	0,08-0,1	
4		Глины	27	22	0,0001-0,05	
5		Аргиллиты, песча- ники, известняки	39	4	0,8-5,0	35

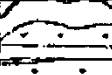
б

1		Растительный слой	0,5	0,5	0,16-0,4	
2		Суглинки	2	1,5	0,02-0,083	
3		Глины, аргиллиты	10	8	0,0001- 0,05	
4		Песчаники	16	6	0,5-13,1	16

в

1		Суглинок	4	4	0,002-0,01	
2		Пески, глины	15	11	0,002-0,06 1,5-15,0	
3		Песчаники, известняки	23 45	8 22	0,5-5,0	23

Г

1		Растительный слой	0,5	0,5	0,16-0,4	
2		Суглинки средние и тяжелые	5,0	4,5	0,3-0,08 0,002-0,083	
3		Пески с линзами глин	13,0	8,0	1,5-5,0 0,0001-0,051	13,0
4		Пески с прослоями глин	25,0	12,0		

Д

1		Растительный слой	0,5	0,5	0,5-0,7	
2		Суглинки легкие и средние				
3		Суглинки с прослоями супесей	20,0	19,5	0,05-0,8	8,0
4		Гравелистые пески с супесями и суглинками	40,0	20,0	0,3-0,8	
5		Плотные глины	55,0	15,0	0,0001-0,051	

Е

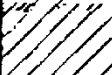
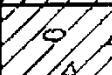
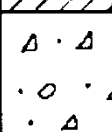
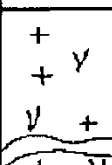
1		Суглинки	6,0	6,0	0,002	
2		Суглинки с галькой и щебнем	12,0	6,0	0,08	
3		Щебень с песчано-глинистым заполнителем	15,0	9,0	5-15	14,0
4		Граниты, диориты, порфириды	30,0	15,0	0,01-7,0	

Рис. 1. Типы гидрогеологических разрезов зоны аэрации районов Южного Урала: а – южная часть Общего Сырта (стоковые площадки Покровского опытного участка); б - междуречье Урала и Сакмары; в – северная степь Южного Предуралья (бассейн р. Большой Кинель); г - бассейн р. Илек (г. Соль-Илецк); д – бассейн р. Черная (Оренбургский район); е - восточная часть Южного Зауралья.

При таянии снега на суглинистых и глинистых почвах, формируется поверхностный сток. Неравномерное распределение снега и аккумуляция поверхностного стока в понижениях рельефа влияют на распределение инфильтрации талых и ливневых вод по земной поверхности. Инфильтрация под понижениями рельефа в зависимости от вида угодья по данным Ю.М. Нестеренко [1] составляет 100 - 400 мм/год и более (табл.).

Неравномерность в пространстве и во времени инфильтрационных поступлений воды через зону аэрации придает им каналовый и неканаловый характер. Под понижениями рельефа в грунтах с малыми коэффициентами фильтрации и над ними формируются верховодки. Они образуются также в местах скопления снега и талых вод в лесных полосах, возле насыпей дорог и строений, в различных карьерах и др.

Таблица. Основные элементы водного баланса на угодьях Южного Предуралья

Угодье	Годы наблюдений	Возвышения рельефа				Понижения рельефа					
		A _з	У _{ст}	Mac2 ⁻ Mac1	S, %	A _з	У _{пр}	У _{ст}	Mac2 ⁻ Mac1	Φ _{ас}	S, %
Пашня	1997	113	35	68	90	181	315	0	151	335	10
	1998	141	27	99	90	211	243	0	153	286	10
	1999	111	13	78	90	170	117	0	146	121	10
	2000	116	39	45	85	245	221	15	99	320	15
	в среднем	120	28	73	89	202	226	4	137	268	11
Целина выбитая	1997	123	85	28	85	164	481	327	234	74	15
	1998	143	89	39	77	215	297	163	237	97	23
	1999	112	72	20	85	171	408	214	222	96	15
	2000	102	65	42	80	243	260	195	194	19	20
	в среднем	120	78	32	82	198	355	225	222	96	18
Целина невыбитая	1999	192	38	134	90	261	342	50	156	377	10
	2000	152	68	61	81	227	290	58	104	332	19
	в среднем	172	53	98	86	244	326	57	130	361	14

Угодье	Годы наблюдений	В среднем на склоне						$K_{\text{фас}}$
		A_3	$E_B - A_B$	$Y_{\text{ст}}$	$\text{Mac2} - \text{Mac1}$	$\Phi_{\text{ас}}$	$K_{\text{ст}}$	
Пашня	1997	120	10	0	76	34	0	0.28
	1998	148	15	0	104	29	0	0.20
	1999	117	20	0	85	12	0	0.10
	2000	135	32	02	53	48	0.02	0.36
	в среднем	129	19	1	80	29	0.01	0.22
Целина выбитая	1997	129	10	49	59	11	0.38	0.09
	1998	160	15	39	84	22	0.24	0.14
	1999	121	20	37	50	14	0.30	0.12
	2000	130	-5	39	72	24	0.30	0.18
	в среднем	134	10	41	66	17	0.30	0.13
Целина невы- битая	1999	199	20	5	136	38	0.025	0.19
	2000	166	23	11	87	63	0.07	0.38
	в среднем	182	22	8	102	50	0.044	0.27
Лесная полоса	1997	567	10	0	284	273	0	0.48
	1998	570	15	0	39	216	0	0.38
	1999	370	20	0	314	36	0	0.10
	2000	356	15	0	312	29	0	0.08
	в среднем	466	15	0	312	138	0	0.30

Примечание. 1. Условные обозначения: A_3 - запасы воды в снеге; $Y_{\text{пр}}$ - приток талых вод; $Y_{\text{ст}}$ - сток талых вод; $\text{Mac2} - \text{Mac1}$ - изменение запасов влаги в активном слое зоны аэрации в конце и начале расчетного периода; $S, \%$ - процент суммарной эффективной площади возвышений (понижений) на угодье; E_B - испарение за время таяния снега; $\Phi_{\text{ас}}$ - фильтрация за пределы активного слоя зоны аэрации; A_B - осадки за время снеготаяния; $K_{\text{ст}}$ - коэффициент поверхностного стока; $K_{\text{фас}}$ - коэффициент фильтрации за пределы активного слоя зоны аэрации; 2. При расчетах водного баланса в понижениях рельефа и на возвышениях величина $E_B - A_B$ принималась по данным, приведенным в колонке 14.

Верховодка образуется на глубинах, где грунты имеют низкие значения коэффициента фильтрации. Если годовая величина инфильтрации превышает возможную годовую величину фильтраций, через какой либо слой с учетом возможного растекания, то на этом слое грунтов формируется постоянная верховодка (линза подземных вод). Если величина инфильтрации с поверхности будет меньше возможной величины фильтрации через водоупор (точнее назовем его условным водоупором), то образуется временная верховодка.

В условиях Общего Сырта при средней величине инфильтрации 15-30 мм/год и минимальном K_f глинистых отложений зоны аэрации равным 30-40 мм/год верховодка часто формируется на длительный период. Возможна лишь частичная ее разгрузка в гидрографическую сеть, а основная же её часть фильтруется через условный водоупор [1].

Если почвенный слой подстилается песками различного механического состава и даже легкими суглинками, то движение инфильтрующейся влаги в горизонт грунтовых вод протекает без образования верховодки (рис. 1-г и д). В этом случае её движение в зоне аэрации носит общеизвестный характер инфильтрации в ненасыщенных грунтах.

Анализ представленных на рис. 1 различных типов строения зоны аэрации показывает, что движение воды в ней в каждом случае протекает неодинаково. Усложнение процессов движения влаги в зоне аэрации обусловлено неравномерностью инфильтрации в нее поверхностных вод во времени и пространстве. В степной зоне их основное поступление наблюдается лишь в период весеннего таяния снега и преимущественно в понижениях рельефа (табл.). Пути и формы нисходящего движения влаги в зоне аэрации зависят от ее строения влажности.

Значение различных фазовых состояний влаги в зоне аэрации степей значительно отличается от их роли в зоне избыточного увлажнения. Рассмотрим формы и фазы воды в грунтах вододефицитных территорий.

По классификации, принятой в почвоведении и гидрогеологии [3, 5, 6] в зоне аэрации различают кристаллизационную, твердую (лед), парообразную, прочно- и рыхлосвязанную и свободную воду, которая подразделяется на стыковую, капиллярно-подвешанную, гравитационно-просачивающуюся, капиллярно-подпертую и грунтовую воды, образующие зеркало и имеющие УГВ. Для зоны аэрации вододефицитных территорий существенное значение имеют следующие формы влаги.

Парообразная влага находится в подземной атмосфере ненасыщенных грунтов. По исследованиям многих авторов [3, 5, 7], она передвигается в грунтах под влиянием градиента упругости пара и/или пассивно вместе с током воздуха. При этом предполагается, что влажность почвенного воздуха равна максимальной влагоемкости при данной температуре. Это является обычным для зоны избыточного увлажнения. Но в условиях сухих степей, полупустынь и пустынь в период засух грунтовый воздух часто не имеет

полного насыщения до максимальной влагоемкости. Нами установлено наличие дефицита влажности воздуха в суглинках зоны аэрации на Общем Сырте.

Прочносвязанная влага удерживается сорбционными силами частиц грунта с напряжением 10000 кгс/см^2 и более и удаляется из них при нагревании до 200°C . В условиях дефицита влаги в почве и грунтах ее доля в общей массе влаги увеличивается, но её значение в водном балансе вододефицитных территорий пока не изучено.

Рыхлосвязанная влага формируется в грунтах и почве в виде пленки вокруг их частиц толщиной в несколько десятков слоев молекул воды и замерзает постепенно при отрицательных температурах. По исследованиям Ф.Е. Колясева [8], она соответствует содержанию влаги от максимальной гигроскопичности (МГ) до влажности устойчивого завядания растений (ВЗ) и передвигается от толстых пленок к тонким под действием сорбционных сил.

Свободная влага не покрывает полностью частицы почвы и грунта, а скапливается в поровом пространстве между ними. Передвигается она под влиянием капиллярных и гравитационных сил, а также в виде пара, переходя в него на границе с сухими почвами. К рыхлосвязанной влаге А.В. Лебедев [3] относит влагу в пределах от ВЗ до ВРК (влажность разрыва капилляров). Передвижение парообразной воды от влажных грунтов в иссушенные в острозасушливых зонах по нашему мнению имеет существенное значение в питании грунтовых вод. Однако его не следует относить к способам передвижения жидкой формы влаги, так как в рассматриваемом случае жидкая влага передвигается в газообразном состоянии по соответствующим механизмам ее миграции. По мнению Ф.Е. Колясева [8], в пределах ВРК-НВ свободная влага передвигается под действием капиллярных сил, а в пределах НВ-ПВ под влиянием сил гравитации.

А.А. Роде [6] и А.В.Лебедев [3] свободную влагу почв разделяют на следующие формы и виды:

1. Подвешенная влага, не имеющая гидростатической связи с водоносным горизонтом, подразделяется на:

- стыковую капиллярно-подвешенную (встречается в крупно-, средне и мелкозернистых грунтах в виде разобщенных скоплений вокруг соприкосновений твердых частиц при влажности равной и менее НВ);
- внутриагрегатную капиллярно-подвешенную в структуре почв;

- капиллярно-подвешенную в среднезернистых почвах и грунтах в сухой почве и не достигшими ими полной влагоемкости;
- сорбционно-замкнутую в тонкозернистых грунтах в виде микроскопических пор, изолированных «пробками» несвязанной воды (встречается в интервале влажности НВ-ВРК).

2. Подпертая гравитационная влага подразделяется на:

- подперто-подвешенную капиллярную при влажностях выше НВ в слоистых грунтах, в более тяжелых мелкопористых слоях при подстилании их более легкими крупнозернистыми и удерживается капиллярными силами;
- подпертую капиллярную в грунтах любого гранулометрического состава в виде влаги капиллярной каймы над водоносным горизонтом при влажности от НВ до ПВ.

3. Свободная гравитационная вода, передвигающаяся под влиянием сил тяжести. Она подразделяется на:

- воду, просачивающуюся вниз в слоях грунтов с влажностью в пределах НВ-ПВ в нисходящем движении;
- воду водоносных горизонтов, насыщающую грунты и горные породы до ПВ (с поправкой на заземленный воздух).

В профиле зоны аэрации выделяются несколько подзон с присущим только им режимом влажности. По влажности грунтов в зоне аэрации четко выделяются три подзоны: 1) капиллярной каймы над уровнем грунтовых вод; 2) транспирации и активного водообмена с атмосферой и 3) расположенная между ними подзона транзита (рис. 2).

Исследования влаги в этих подзонах вели Б.В. Дерягин [9], С.Ф. Аверьянов [10, 11], Ф.Е. Колясов [8, 12], А.И. Будаговский [13], А.А. Роде [6, 7], А.М. Глобус [14, 15], А.В. Лебедев [3, 16], С.В. Нерпин [17]), В.М. Яншин [18], И.К. Гавич [19], Д.Я. Раткович [20], В.А. Мироненко, В.Г. Румынин [21] и многие другие. Параметры и значимость подзон в формировании подземных вод зависят от мощности зоны аэрации и природно-климатической зоны. Рассмотрим формы воды в этих подзонах.

Капиллярная кайма (КК) находится непосредственно над подземными водами. Её исследовали А.А. Роде [7], А.Н. Костяков [22], С.В. Нерпин [17], К.Н. Шишков [23] и другие. По их мнению, параметры капиллярной каймы зависят от механического состава грунтов, находящихся над уровнем грунтовых вод (УГВ), их режима, а также от режима питания грунтовых вод,

испарения и инфильтрации.

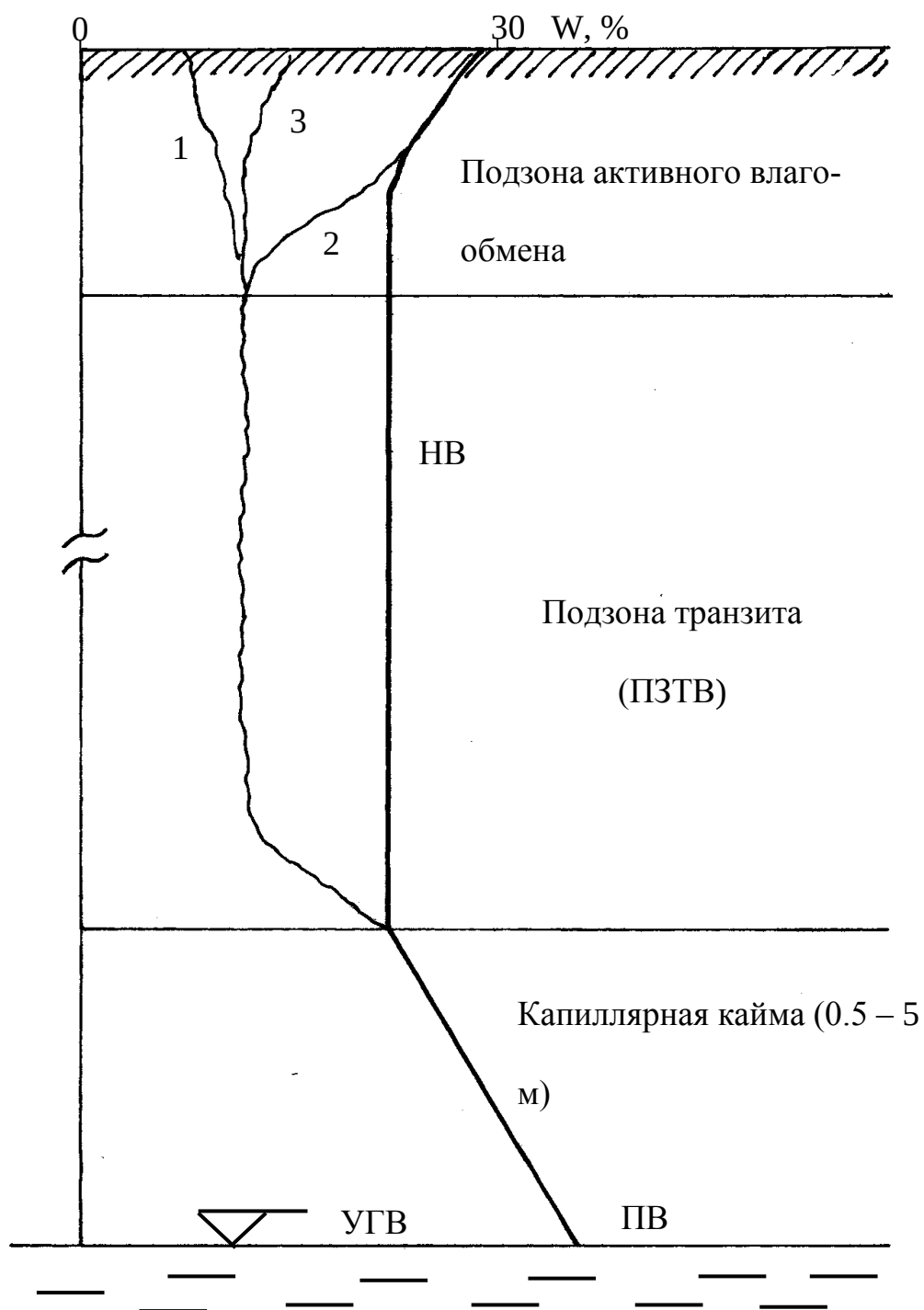


Рис. 2. Схема режима влажности грунтов (W) зоны аэрации вне понижений при глубоком залегании грунтовых вод: 1 – конец вегетации, 2 – после снеготаяния, 3 – середина вегетации.

На территориях с близким к поверхности залеганием подземных вод капиллярная кайма часто занимает всю зону аэрации и выходит на земную поверхность, обеспечивая через себя прямой контакт грунтовых вод с атмосферой, атмосферными осадками и растительностью, формируя водный и воздушный режимы в корнеобитаемом слое. Процессы водообмена через капиллярную кайму в зоне аэрации при близком залегании подземных вод играют важную роль в зонах избыточного увлажнения и подробно рассмотрены в работах А.Н. Костякова [22], А.Ф. Лебедева [3] и других. При избыточном увлажнении на территории с близким залеганием грунтовых вод и выходом капиллярной каймы на земную поверхность преобладает инфильтрационный тип водообмена зоны аэрации с атмосферой.

В зоне недостаточного увлажнения близкое залегание грунтовых вод наблюдается в основном возле постоянных или временных водотоков. По причине значительного превышения испаряемости над атмосферными осадками в этой зоне на участках с близким залеганием уровня грунтовых вод преобладает испарительный тип водообмена зоны аэрации с атмосферой. Только во время весенних и летних паводков на затапливаемых участках соли вымываются, предотвращая засоление почв.

На основной части вододефицитных территорий подземные воды расположены на большой глубине и капиллярная кайма не только не достигает земной поверхности, но и подзоны водопотребления влаги растениями. В этих условиях капиллярная кайма становится передаточным звеном между подземными водами и зоной аэрации в целом. В этом случае она имеет не большое влияние на водообмена между атмосферными осадками и подземными водами. Однако следует отметить немалое значение капиллярной каймы при наличии верховодки. В этом случае она становится важнейшим фактором водообмена зоны аэрации с атмосферой, водообеспечения растений влагой и солевого режима почв.

Подзона активного водообмена (ПЗАВ) с атмосферой и водопотребления растениями включает в себя грунты и почвы, в которые инфильтруются талые воды и выпадающие жидкие атмосферные осадки и из него растения потребляют влагу. При близком залегании уровня подземных вод он часто объединяется с капиллярной каймой, обеспечивая взаимодействие атмосферы с грунтовыми водами. Аналогичное значение эта подзона имеет и на участках с близким залеганием грунтовых вод, в понижениях рельефа и в гидро-

графической сети вододефицитных территорий. На основной же части вододефицитных территорий при глубоком залегании грунтовых вод ПЗАВ имеет своё самостоятельное значение. Важнейшей характеристикой подзоны является её мощность, от которой зависят продуктивные запасы влаги и интенсивность водообмена с расположенными ниже грунтами зоны аэрации.

Мощность ПЗАВ определяется глубиной, с которой влага грунтов может потребляться растениями или испаряться. Её можно определить экспериментально по глубине иссушения грунтов зоны аэрации при длительном отсутствии атмосферных осадков после их увлажнения на большую глубину на орошаемых землях. В условиях сухой степи мощность ПЗАВ нами определялась в мезопонижениях рельефа, в которых аккумулируются талые и ливневые воды, увлажняя почвы и грунты на большую глубину.

На Покровском опытном участке на суглинистых черноземах южных глубина водопотребления корневой системой яровой пшеницы и на целине составила 1,4-1,5 м, а под лесной полосой она увеличивалась до 2 м. Определение автором глубины потребления влаги различными сельскохозяйственными культурами в Чебеньковском ОПХ Оренбургского НИИСХ показало, что мощность ПЗАВ на поле подсолнечника и кукурузы составляет 1,7-1,9 м, яровой пшеницы – 1,5 м и проса – 1,6 м. Опыты, проведенные нами в совхозе Гагарина в 1978 г. на орошаемой кукурузе, выявили потребление влаги ее корневой системой с глубины 1,8 м. Орошаемые кукуруза и многолетние травы люцерно-кострецовой смеси потребляют влагу до глубины 1,8 м [1].

Обобщая данные по определению мощности ПЗАВ и учитывая, что основными сельскохозяйственными культурами на Южном Урале являются зерновые культуры, кукуруза и подсолнечник, можно принять ПЗАВ 1.5-2.0 м.

На вододефицитных территориях поступление воды из ПЗАВ в слой транзита происходит в основном при таянии снега. Летние осадки в основном перехватываются корневой системой растений или испаряются с земной поверхности.

На открытых степных пространствах перед таянием снега соотношение количества зимних осадков и недостатка увлажнения до НВ подзоны активного водообмена, как правило, значительно меньше единицы. Следовательно, если бы все талые воды на этих территориях равномерно пошли на инфильтрацию, то и в этом случае они не обеспечат увлажнение грунтов глубже слоя их возможного потребления растительностью, и они почти все будут израс-

ходованы на суммарное испарение. Но в связи с неравномерным распределением снега в степной зоне и наличием поверхностного стока, талые воды аккумулируются в понижениях рельефа в количестве, значительно превышающем недостаток насыщения до НВ слоя активного водообмена.

Подзона транзита влаги (ПЗТВ) расположена между слоем активного водообмена и капиллярной каймой. Она непосредственно не контактирует ни с атмосферой, ни с подземными водами. Но процессы водо- и пароперемещения в ней оказывают значительное влияние на режим и химический состав подземных вод, а также свойства почвенного покрова. Влагоперенос в ПЗТВ определяет ее солевой режим и участвует в формировании верхней части осадочного чехла Земли. Поэтому изучение влагопереноса в ПЗТВ важно для понимания процессов, идущих во всей зоне аэрации и подземных водах. Мощность ПЗТВ вододефицитных территорий при глубоком залегании 1-ого водоносного горизонта можно вычислить по формуле:

$$h_{\text{ПЗТВ}} = h_{\text{ПВ}} - h_{\text{ав}} - h_{\text{КК}},$$

где $h_{\text{ПЗТВ}}$ – мощность ПЗТВ; $h_{\text{ПВ}}$ – глубина залегания подземных вод; $h_{\text{ав}}$ – мощность подзоны активного водообмена; $h_{\text{КК}}$ – мощность капиллярной каймы.

Заключение

В аридных условиях степей мощность зоны аэрации, как правило, превышает 5 м, достигая 20-30 м и более, что исключает прямое испарение подземных вод через капиллярную кайму.

В связи с большой мощностью зона аэрации имеет сложное геологическое строение, со слоями песчанистых и глинистых грунтов. Глинистые грунты с малыми коэффициентами фильтрации создают условия для формирования верховодок под понижениями рельефа. Из них вода постепенно фильтруется в подземные воды.

Основное питание подземных вод через многометровую зону аэрации и образование верховодок происходит в понижениях рельефа, в наибольшей мере под лесными полосами и в наименьшей – под выбитой пастьбой целиной.

Исследования водообмена в зоне аэрации выявили возможность его регулирования и управления направлением и темпами движения влаги в ней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 287 с.

2. Каменский Г.Н. Основы динамики подземных вод. (Теория движения подземных вод в водоносных горизонтах). Ч.II. М.-Л.: ОНТХИ НКТП СССР, 1935. 279 с.
3. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. М.: Недра, 1976. 223 с.
4. Stanley N. Daris Hydrogeology. New-York-London-Sidney, 1966. 252 p.
5. Долгов С.И. Исследование подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. М., Изд-во АН СССР, 1948. 208 с.
6. Роде А.А. Почвенная влага. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 456 с.
7. Роде А.А. Методы изучения водного режима почв. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 244 с.
8. Колясев Ф.Е. О факторах движения воды в почве. Почвоведение. 1944. 2-3: 80-86.
9. Дерягин Б.В. Упругие свойства тонких слоев воды. Журнал физ. химии. 1932. 3 (1): 43-49.
10. Аверьянов С.Ф. О водопроницаемости почвогрунтов при неполном их насыщении. Инж. сб. института механики АН СССР, 1950: 3-14.
11. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., 1956: 85-447.
12. Колясев Ф.Е. О подвижности воды в почве и путях ее регулирования. Почвоведение. 1957. 4: 44-51.
13. Будаговский А.И. Впитывание воды в почву. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 140 с.
14. Глобус А.М. Исследование передвижения влаги в почвах и грунтах под влиянием градиента температуры: Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Л., 1962. 20 с.
15. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. Методы определения потенциала и коэффициентов переноса почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 356 с.
16. Лебедев А.В. Методические рекомендации по изучению режима и баланса влаги в зоне аэрации в целях составления прогноза питания грунтовых вод. М.: ВСЕГИНГЕО, 1972. 115 с.
17. Нерпин С.В. Движение вязкопластичных жидкостей через капилляры с периодически меняющимся сечением. Физические проблемы мелиорации и обработки почв. Вып. 22. Л.: Изд-во Колос, 1970: 62-72.
18. Яншин В.Н. Характеристика режима влаги в зоне аэрации в условиях применения новой техники орошения на Энгельсской оросительной системе в Поволжье. Матер. межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. 2.2. М., 1972: 70-76.
19. Гавич И.К. Многолетняя изменчивость питания и режима подземных вод природно-техногенных систем верхнего этажа гидролитосферы. М., 1995. 42 с.
20. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. М.: Изд-во РАН, 1997. 262 с.
21. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Теоретическое изучение и моделирование геомиграционных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1998. Т.1. 611 с.
22. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1960. 621 с.
23. Шишков К.Н. Опыт применения тензиометра-влагомера в гидрогеолого-мелиоративных исследованиях ВНИИГиМ. Матер. межведомственного совещания по мелиоративной гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1972. Вып. 1, Ч. 1: 126-130.

Поступила 21.06.2017

(Контактная информация: Нестеренко Юрий Михайлович – доктор географических наук, доцент, заведующий отделом геоэкологии Оренбургского научного центра УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29 о/с 14, а/я 59; Тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: geoecol-onc@mail.ru)

LITERATURA

1. Nesterenko Ju.M. Vodnaja komponenta aridnyh zon: jekologicheskoe i hozjajstvennoe

- znachenie. Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. 287 s.
2. Kamenskij G.N. Osnovy dinamiki podzemnyh vod. (Teorija dvizhenija podzemnyh vod v vodonosnyh gorizontah). Ch.II. M.-L.: ONTHI NKTP SSSR, 1935. 279 s.
 3. Lebedev A.V. Metody izuchenija balansa gruntovyh vod. M.: Nedra, 1976. 223 s.
 4. Stanley N. Daris Hydrogeology. New-York-London-Sidney, 1966. 252 p.
 5. Dolgov S.I. Issledovanie podvizhnosti pochvennoj vlagi i ee dostupnosti dlja rastenij. M., Izd-vo AN SSSR, 1948. 208 s.
 6. Rode A.A. Pochvennaja vlaga. M.: Izd-vo AN SSSR, 1952. 456 s.
 7. Rode A.A. Metody izuchenija vodnogo rezhima pochv. M.: Izd-vo AN SSSR, 1960. 244 s.
 8. Koljasev F.E. O faktorah dvizhenija vody v pochve. Pochvovedenie. 1944. 2-3: 80-86.
 9. Derjagin B.V. Uprugie svojstva tonkih sloev vody. Zhurnal fiz. Himii. 1932. T.3. Vyp.1: 43-49.
 10. Aver'janov S.F. O vodopronicaemosti pochvogruntov pri nepolnom ih nasyshhenii. Inzh. sb. instituta mehaniki AN SSSR, 1950: 3-14.
 11. Aver'janov S.F. Fil'tracija iz kanalov i ee vlijanie na rezhim gruntovyh vod. Vlijanie orositel'nyh sistem na rezhim gruntovyh vod. M., 1956: 85-447.
 12. Koljasev F.E. O podvizhnosti vody v pochve i putjah ee regulirovanija. Pochvovedenie, 1957. 4: 44-51.
 13. Budagovskij A.I. Vpityvanie vody v pochvu. M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. 140 s.
 14. Globus A.M. Issledovanie peredvizhenija vlagi v pochvah i gruntah podvlijaniem gradienta temperatury: Avtoref. dis. ...kand. tehn. nauk, L., 1962 .20 s.
 15. Globus A.M. Jeksperimental'naja gidrofizika pochv. Metody opredelenija potentsiala i koeficientov perenosa pochvennoj vlagi. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 356 s.
 16. Lebedev A.V. Metodicheskie rekomendacii po izucheniju rezhima i balansa vlagi v zone ajeracii v celjah sostavlenija prognoza pitaniya gruntovyh vod. M.: VSEGINGEO, 1972. 115s.
 17. Nerpin S.V. Dvizhenie vjazkoplastichnyh zhidkostej cherez kapilljary s periodicheski menjajushhimsja secheniem. Fizicheskie problemy melioracii i obrabotki pochv. Vyp.22.L.: Izd-vo Kolos, 1970: 62-72.
 18. Janshin V.N. Harakteristika rezhima vlagi v zone ajeracii v uslovijah primenenija novoj tehniki oroshenija na Jengel'sskoj orositel'noj sisteme v Povolzh'e. Mater. mezhvedomstvennogo soveshhanija po meliorativnoj gidrogeologii i inzhenernoj geologii. 2.2, M., 1972: 70-76.
 19. Gavich I.K. Mnogoletnjaja izmenchivost' pitaniya i rezhima podzemnyh vod prirodno-tehnogennyh sistem verhnego jetazha gidrolitosfery. M., 1995. 42 s.
 20. Ratkovich D.Ja., Bolgov M.V. Stohasticheskie modeli kolebanij sostavljajushhih vodnogo balansa rechnogo bassejna. M.: Izd-vo RAN, 1997. 262 s.
 21. Mironenko V.A., Rumynin V.G. Problemy gidrogeojekologii. Teoreticheskoe izuchenie i modelirovanie geomigracionnyh processov. M.: Izd-vo MGGU, 1998. T.1. 611 s.
 22. Kostjakov A.N. Osnovy melioracii. M.: Sel'hozgiz, 1960. 621 s.
 23. Shishkov K.N. Opyt primenenija tenziometra-vlagomera v gidrogeologo-meliorativnyh issledovanijah VNIIGiM. Mater. mezhvedomstvennogo soveshhanija po meliorativnoj gidrogeologii i inzhenernoj geologii. M., 1972. Vyp. 1. Ch. 1: 126-130 s.

Образец ссылки на статью:

Нестеренко Ю.М. Зона аэрации и водный режим в степях Южного Урала при глубоком залегании подземных вод. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2017. 2: 17с. [Электронный ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2017-2/Articles/NYM-2017-2.pdf>).