

1
НОМЕР

БОНЦ

ISSN 2304-9081

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

On-line версия журнала на сайте

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

БЮЛЛЕТЕНЬ

ОРЕНБУРГСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА УРО РАН

Lycosa singoriensis (Laxmann, 1770)

Тарантул южнорусский

Шовкун Д.Ф.



2019

УЧРЕДИТЕЛЬ

ОРЕНБУРГСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР УРО РАН

© Н.В. Соломатин, Ю.М. Нестеренко, 2019

УДК 556.182:631.4 (470.5)

Н.В. Соломатин, Ю.М. Нестеренко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ ВЛАГОПРОВОДНОСТИ СУГЛИНКОВ И ПОТОКА ВЛАГИ В ЗОНЕ АЭРАЦИИ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОГО УРАЛА МЕТОДОМ ИЗОЛИРОВАННЫХ КОЛОНН

Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН (Отдел геоэкологии), Оренбург, Россия

Движение влаги через границу между подзоной активного водообмена и подзоной транзита в зоне аэрации степной зоны Общего Сырта, занимающего основную часть Южного Предуралья, определяет величину питания подземных вод и их испарения в случае близкого к поверхности залегания. Формы, количество и направления движения влаги через слой транзита определяются его мощностью и строением, количеством и режимом ее поступления из подзоны активного водообмена. Для оценки зависимости скорости движения влаги в ненасыщенных грунтах от их влажности и коэффициента их влагопроводности были заложены многолетние полевые и лабораторные опыты методом изолированных колонн грунтов.

Ключевые слова: зона аэрации, степь, подземные воды, режим поступления влаги, коэффициент влагопроводности.

N. W. Solomatin, Y. M. Nesterenko

DETERMINATION OF RESULTING MOISTURE CONDUCTIVITY OF LOAMS AND MOISTURE FLOW IN THE AERATION ZONE IN A STEPPE ZONE OF THE SOUTHERN URALS USING THE METHOD OF ISOLATED COLUMNS

Orenburg Federal Research Center, UB RAS (Department of Geoecology), Orenburg, Russia

Movement of moisture across the boundary between the subzone of active water exchange and the transit subzone in the aeration zone of a steppe zone of the General Syrt, which occupies the main part of the Southern Urals region, determines the amount of groundwater recharge and evaporation in the case of occurrence close to the surface. The forms, quantity and directions of moisture movement through the transit layer are determined by its capacity and structure, quantity and mode of its receipt from the subzone of active water exchange. To assess dependence of the movement rate of moisture in unsaturated soils on their moisture content and their coefficient of moisture conduction, perennial field and laboratory experiments were established using the method of isolated columns of soils.

Key words: aeration zone, steppe, groundwater, moisture input regime, moisture conductivity coefficient.

Движение влаги через границу между подзоной активного водообмена и подзоной транзита в зоне аэрации степной зоны Общего Сырта, занимающего основную часть Южного Предуралья, определяет величину питания подземных вод и их испарения в случае близкого к поверхности залегания.

Количество влаги, фильтрующейся через граничный слой, зависит как от природных факторов (водно-физических свойств почв, атмосферных осадков, погодных условий в период снеготаяния, грунтов и т.д.), так и от факторов хозяйственной деятельности человека (виды и сроки основной обработки плодородного слоя почвы, состояние растительной биомассы, агромелиоративные мероприятия и др.). Большая часть осадков в маловодных территориях степной зоны задерживается в корнеобитаемом слое земной поверхности и расходуется на испарение. Более глубокое промачивание грунтов возможно лишь в местах концентрации атмосферных осадков в понижениях рельефа за счет ветрового перераспределения снежного покрова, поверхностного стока талых и ливневых вод: после насыщения до наименьшей влагоемкости слоя активного водообмена аккумулярованными водами, наблюдается гравитационное нисходящее движение влаги, что, в конечном счете, позволяет атмосферным осадкам достигнуть уровня подземных вод [6, 7].

В степной зоне Общего Сырта под возвышенными участками рельефа, в связи с малым увлажнением слоя активного водообмена, гравитационная фильтрация вод за пределы этого слоя отсутствует. Однако это не означает, что под возвышенностями нет влагообмена между подзоной активного водообмена и ниже расположенной подзоной транзита, и нет последующего нисходящего движения влаги. Сезонные колебания влажности в глинистых грунтах на этих глубинах составляют 1-3%, уменьшаясь до 14%. Уменьшение влажности почв, за пределами слоя возможного их потребления растительностью – в пределах от наименьшей влагоемкости до влажности разрыва капилляров и менее, подтверждает наличие миграции влаги в различных её фазах и формах.

Для определения зависимости скорости движения влаги в ненасыщенных грунтах от их влажности и коэффициента их влагопроводности предложен ряд формул: С.В. Аверьянов (1949, 1950) [1], А.И. Будаговский (1964) [2], И.С. Пашковский (1971) [3] и др.

Применительно к условиям Покровского опытного участка сделаны расчеты коэффициента влагопроводности по формулам:

$$\text{С.В. Аверьянова (1950) [1]} \quad K_{и} = K_{ф} * \left[\frac{O - O_{МГ}}{O_{п} - O_{МГ}} \right]^{6.5}, \quad (1.1)$$

$$\text{А.И. Будаговского (1955) [2]} \quad K_{и} = K_{ф} * \left[\frac{O - O_{МГ}}{O_{п} - O_{МГ}} \right]^4, \quad (1.2)$$

$$\text{И.С. Пашковского (1971) [3]} \quad P = h * \left[\frac{O - O_0}{O_{п} - O_{МГ}} \right], \quad (1.3)$$

$$\text{Л.С. Лейбензона (1947) [5]} \quad K_{и} = K_{ф} * \left[\frac{O}{O_{п}} \right]^{37}, \quad (1.4)$$

$$\text{А.И. Голованова (1974) [4]} \quad K_{и} = K_{ф} * \left[\frac{O - O_{МГ}}{O_{п} - O_{МГ}} \right]^5, \quad (1.5)$$

где $K_{в}$ – коэффициент влагопроводности;

$K_{ф}$ – коэффициент фильтрации;

W – влажность грунта в долях от объема;

$W_{МГ}$ – влажность грунта при МГ, в долях от объема;

$W_{п}$ – влажность грунта при ПВ, в долях от объема;

W_0 – влажность грунта при ВРК. в долях от объема;

h^* - 2.25;

P – поток почвенной влаги.

Результаты расчетов коэффициента влагопроводности ($K_{в}$) по выше-приведенным формулам для суглинистых грунтов Покровского опытного участка на глубине 2-4 м при объемном весе 1.65 г/см³ и коэффициенте фильтрации ($K_{ф}$) = 0.02 м/сут и при объемном весе 1.37 и $K_{ф}$ = 0.1 м/сут для этих же грунтов с нарушенной структурой показали, что при влажности грунтов близкой к наименьшей влагоемкости и более различия в результатах его расчёта по различным методикам малы. Уменьшение влажности грунтов приводит к увеличению различий в результатах расчета. Колебания естественной влажности грунтов под всеми угодьями Покровского опытного участка, при глубоком залегании подземных вод, в течение года были от наименьшей влагоемкости (НВ) до влажности разрыва капилляров (ВРК). При изменении влажности грунтов в пределах от НВ до ВРК различия в коэффициентах влагопроводности достигают нескольких десятков раз. Так, при влажности разрыва капилляров по формуле С.В. Аверьянова имеем $K_{и}$ =0.01 мм/сут, А.И. Будаговского – 0.20, А.И. Голованова – 0.06 и Л.С. Лейбензона – 2.9 мм/сут. При средней влажности грунтов под понижениями 16% от их веса (26% от объема) различия в $K_{и}$ также велики и коэффициент влагопроводности, соот-

ветственно, равен 0.09, 0.77, 0.33 и 4.6 мм/сут. Для выявления фактической зависимости между K_i и наблюдаемыми изменениями влажности грунтов на Покровском опытном участке были заложены многолетние полевые и лабораторные опыты методом изолированных колонн грунтов.

Для проведения полевых опытов использовались колонны грунтов, размещаемых в разъемных трубах высотой 2 м и диаметром 5 см, которые периодически (2 раза в год) заменялись (рис. 1). Данные колонны опускались в необсаженные скважины на глубины 1-3 м и 3-5 м, что позволяло обеспечить температурный режим, близкий к естественному температурному режиму соответствующих слоев грунтов подзоны транзита в зоне аэрации степей. Перед закладкой колонн грунта в скважины определяли их исходную влажность. С целью устранения потерь влаги из опытного образца соединения трубы и её концы обрабатывались гидроизоляционным материалом (масляной краской) и дополнительно изолировались полиэтиленовой пленкой. В ходе опыта велись наблюдения за температурой грунтов на глубинах 1, 3 и 5 м.

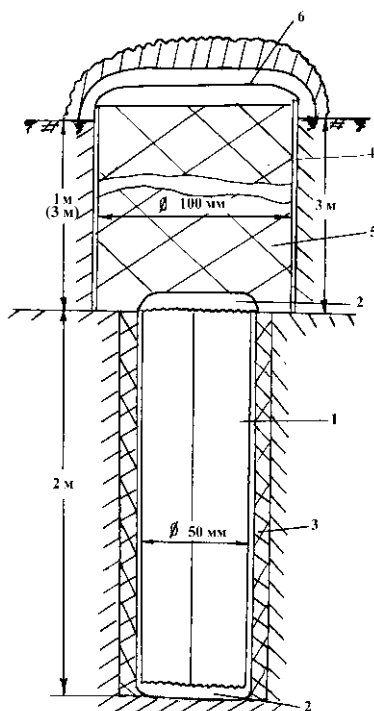


Рис.1. Устройство скважины и разъемной трубы для изучения миграции влаги в зоне аэрации: 1- разъемная труба диаметром 50 мм с грунтом; 2- съемная пластмассовая гидроизоляция; 3- рыхлая обмотка трубы полиэтиленовой пленкой для устранения конвекции воздуха; 4- обсадная труба диаметром 100 мм до уровня разъемной трубы; 5- рыхлое заполнение полиэтиленовой пленкой; 6- полиэтиленовая заглушка скважины с присыпкой грунтом.

Лабораторный опыт по изучению миграции влаги из влажных грунтов в сухие проводился в грунтах с нарушенной структурой. Для проведения опыта полиэтиленовая труба диаметром 10 см и высотой 1.7 м заполнялась суглинистым грунтом с Покровского опытного участка влажностью 5.6%. Заложенный в трубу грунт увлажнялся с обоих концов трубы на глубину 25-30 см и ставился вертикально. Концы трубы герметизировались. Опыт проводился в помещении лаборатории. В течение опыта два раза в сутки измерялась температура окружающего воздуха у верхнего и нижнего конца заполненной грунтом трубы. Через 10 дней после завершения увлажнения грунта до наименьшей влагоемкости в концах трубы в колонне определялась влажность грунтов послойно термовесовым методом: для этого в трубе через 10-20 см сверлили отверстия диаметром 18 мм, которые после отбора навески грунта (10-15 г) герметично закрывали. Через 2-3 месяца повторяли отбор проб в тех же слоях грунтов. Для устранения влияния предыдущих точек отбора пробы отбирали во вновь просверленных отверстиях. Опыт продолжался 390 суток.

Результаты изучения скорости миграции влаги в колоннах грунтов в расчете на естественный температурный режим представлены в таблицах 1 и 2.

В верхней части подзоны транзита зоны аэрации степей Южного Предуралья градиент температуры, и зависящий от его градиент давления пара воды в свободной скважности грунтов, в различные сезоны года могут иметь направления вверх, к земной поверхности, или вниз, к подземным водам. В связи с этим возможна смена направления миграции влаги. В этих типичных естественных условиях, при 1.5-3-х месячной периодичности определения изменений во влажности грунтов в колоннах, учтенная миграция влаги может являться результирующей их влагопроводимости, и по этой причине полученные показатели будут меньше их значений при неизменном направлении градиента температуры грунтов.

Приведенные в таблицах 1 и 2 сведения о результирующей влагопроводности суглинков на Покровском опытном участке выявляют преимущественно нисходящий поток влаги в верхней части подзоны транзита влаги под возвышениями рельефа. На глубине 1-3 м (табл. 1) в вегетационный период при средней влажности грунтов в колонне 21.6% от объема результирующая влагопроводность составила 0.05 мм/сут, а в зимний период при влажности грунтов 22.6% - 0.07 мм/сут.

Таблица 1. Определение результирующей влагопроводности суглинков и потока влаги в зоне аэрации методом изолированных колонн на Покровском опытном участке на глубине 1-3 м, при объемном весе $D=1.37 \text{ г/см}^3$ и $Kф=0.1 \text{ м/сут.}$

Срок опыта	Продолжительность (Т), сут.	Средняя влажность грунта (W) % от объема	Градиент температуры (Δt), °C/м	Градиент давления пара (ΔD), мб/м	Влагопроводность (Ки), мм/сут.	Направление потока
Вегетационный период (16.04-15.10)						
27.05-11.08 1998	76	20.1	1	3	0	
12.08-5.10 1998	55	20.1	1	2	0	
16.06-27.07 1999	41	23.1	2	1.5	0.1	вниз
28.07-22.10 1999	87	23.0	2	2	0.1	вниз
Среднее	259	21.6	1.5	2.2	0.05	вниз
Зимний период (16.10-15.04)						
9.10-26.12 1997	78	20.8	2	1.8	0.256	вниз
5.10-23.12 1998	79	16.8	0	0	0.20	вниз
22.10.99-22.01.2000						
22.01-17.03.2000	92	26.5	0	0	0.22	вниз
	55	26.4	0.5	0.4	0.05	вниз
Среднее	304	22.6	0.6	0.5	0.07	вниз
В среднем за год		22.1	1.0	1.4	0.06	вниз

Режим температуры и изменения в градиентах температуры и давления пара в окружающих изолированную колонну грунтах на глубине 1-2 м показаны на рисунке 2. Совместный анализ таблицы и рисунка выявляет зависимость скорости результирующего нисходящего движения влаги на глубине 1-3 м от влажности грунтов

Многолетняя средняя влажность грунтов под распаханнами возвышенностями рельефа на опытном участке на глубине 2-х метров равна 22% от их объема (0.76 от наименьшей влагоемкости). Коэффициент фильтрации в этом слое грунтов при объемном весе 1.5 г/см^3 равен 0,07 м/сут. В пересчете на плотность грунтов с ненарушенной структурой в исследуемом слое на глубине 1-3 м равную 1.5 г/см^3 и при объемной влажности грунтов в колонне 22.1 % $\times 1.5/1.37 = 24.2\%$ от объема и коэффициента фильтрации равной 0.07 м/сут [7].

$$K_{ир} = 22 \times 0.007 / 0.2 = 7.7 \text{ мм/год.}$$

Таблица 2. Определение результирующей влагопроводности суглинков и потока влаги в зоне аэрации методом изолированных колонн на Покровском опытном участке на глубине 3-5 м при объемном весе $D = 1,37 \text{ г/см}^3$ и $K_{ф} = 0,1 \text{ м/сут}$

Срок опыта	Продолжительность (Т), сут	Средняя влажность грунта (W), % от объема	Градиент температуры (Δt), °С/м	Градиент давления пара (ΔD), мб/м	Влагопроводность ($K_{и}$), мм/сут.	Направление потока
Вегетационный период (16.04-15.10)						
27.05-11.08 1998	76	22.2	2.0	1.5	0.22	вниз
12.08-5.10 1998	55	21.8	0	0	0	
01.06-27.07 1999	57	21.6	1.5	1.5	0.17	вниз
28.07-22.10 1999	87	21.6	1.5	2.0	0	
	275	21.8	1.25	1.25	0.10	вниз
Зимний период (16.10-15.04)						
9.10.97-27.05.98	229	20.3	0.5	1.0	0.11	вниз
5.10.98-20.01.99	107	16.9	1.0	1.0	0.19	вниз
20.01.-7.04. 1999	77	17	1.0	1.0	0.17	
22.10.99-12.01.2000	82	27.0	1.0	1.0	0.13	вниз вниз
Среднее	295	20.3	0.9	1.0	0.15	вниз
В среднем за год		22.0	1.08	1.12	0.125	вниз

Полученные данные о коэффициенте результирующей влагопроводности позволяют вычислить показатель степени в формулах С.В. Аверьянова, А.И. Будаговского и А.И. Голованова по расчету влагопроводности:

$$K_{и} = K_{ф} \left[\frac{O - O_{мг}}{O_{п} - O_{мг}} \right]^n$$

По нашим исходным данным, используя приведенные формулы, имеем:

$$K_{ир} = K_{ф} \left[\frac{O - O_{мг}}{O_{п} - O_{мг}} \right]^n = 0,07 * \left[\frac{24,2 - 16}{41 - 16} \right]^n =$$

$$= 7.7 \text{ мм/год (0.000021 м/сут)}$$

Это равенство возможно при показателе степени $n=7.2$.

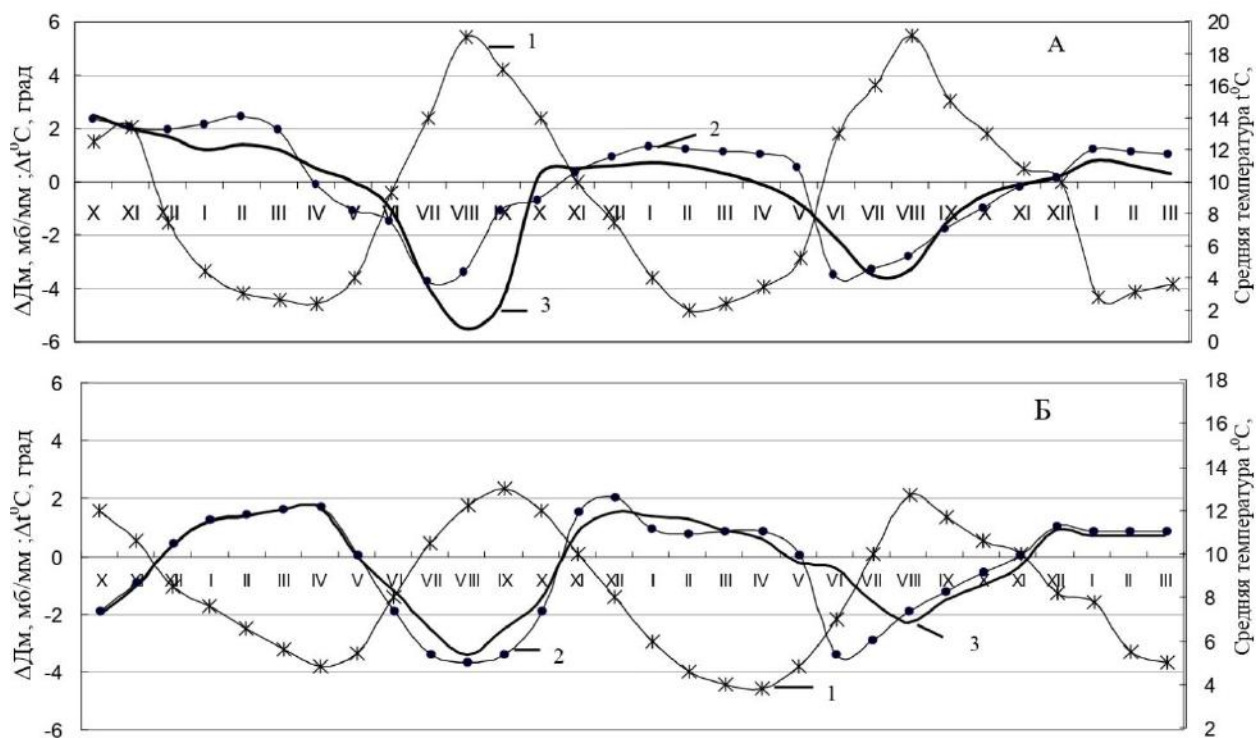


Рис.2. Режимы температуры (1) и градиентов температуры (2) и давления пара (3) в грунтах зоны аэрации Покровского опытного участка в период изучения миграции влаги в зоне аэрации: А – на глубине 1-3м; Б – на глубине 3-5м.

В колонне грунтов на глубине 3-5 м (табл. 2) при объемной влажности 215% от объема во все времена года результирующее направление миграции влаги было нисходящим. В зимний период она составила 0.15 мм/сут и в вегетационный период 0.10 мм/сут при средней годовой объемной влажности грунтов 21 % и коэффициенте фильтрации 0.1 м/сут результирующая миграция на глубине 3-5 м соответственно равна 0.125 мм/сут при температурном режиме, показанном на рисунке 2. В расчете на год она равна 45.6 мм/год.

В пересчете на грунты с ненарушенной структурой с коэффициентом фильтрации 0.02 м/сут на глубине 3-5 м $K_{ир} = 45.6 \text{ мм/год} \times 0.02/0.2 = 4.6 \text{ мм/год}$ при объемной влажности 25 %. Вычисления показателя степени “n” в колонне грунтов на глубине 3-5 м дают его величину равную 7.2. Он равен величине, рассчитанной по данным, полученным в колонне грунтов на глубине 1-3 м. Получение одинаковых значений показателя степени “n” подтверждает достоверность проведенных исследований.

Сравнение зависимости влагопроводности от влажности грунтов на опытном участке с рассчитанными по формулам различных авторов показывает лучшее ее совпадение с формулами А.И. Голованова и С.В. Аверьянова.

Расчеты по формулам А.И. Будаговского и, особенно, Л.С. Лейбензона имеют значительные отклонения от принятой для условий опытного участка.

Сравнение величин коэффициента влагопроводности, определенных по скорости изменения влажности грунтов на опытном участке и вычисленных для соответствующих влажностей по формулам С.В. Аверьянова и А.И. Голованова, показывает достаточно высокое соответствие их друг другу.

Результирующая нисходящая влагопроводность грунтов исследуемой подзоны транзита определена по материалам 2-х летних исследований в поле методом изолированных колонн (табл. 1 и 2). Построенная по их данным линия ее зависимости от объемной влажности дает возможность определить нисходящую составляющую влагопроводности грунтов (K_{ip}). Имеющиеся экспериментальные данные позволяют определить положение линии K_{ip} для влажности от 20% от объема до 30% (наименьшая влагоемкость). Для влажностей грунтов от наименьшей влагоемкости до предельной влагоемкости, при которых преобладающим становится нисходящее гравитационное движение влаги, линия K_{ip} построена лишь по двум этим влажностям, что для данного случая вполне допустимо.

Проведение длительного опыта в естественных условиях позволило, по полученной результирующей влагопроводности (K_{ip}), вычислять результирующие показатели миграции влаги в подзоне транзита влаги и величину питания подземных вод для степной зоны Южного Урала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. О водопроницаемости почвогрунтов при неполном их насыщении. Инж. сб. Института механики АН СССР. М., 1950. С.14.
2. Будаговский А.И. Впитывание воды в почву. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 140 с.
3. Пашковский И.С. Теоретические основы влагопереноса в зоне аэрации. МГД, цикл лекций. Динамика подземных вод. М.: Изд-во МГУ, 1971: 56-80.
4. Голованов А.И., Новиков О.С. Математическая модель переноса влаги и растворов солей в почвогрунтах на орошаемых землях. Труды МГМИ. 1974. Т. 36: 87-95.
5. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде ОГИЗ. Государственное издательство техники теоретической литературы. Москва-Ленинград, 1947.
6. Нестеренко Ю.М. Роль поверхностного стока и антропогенных воздействий в формировании водных ресурсов. Сб. статей «Водные ресурсы, геологическая среда и полезные ископаемые Южного Урала». Оренбург, 2000: 52-78.
7. Нестеренко Ю.М. Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 287с.

Получена 21 января 2019 г.

(Контактная информация:

Нестеренко Юрий Михайлович – доктор географических наук, доцент, заведующий Отделом геоэкологии ОФИЦ УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29, а/я 59; Тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: geoecol-onc@mail.ru);

Соломатин Николай Владиславович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник Отдела геоэкологии ОФИЦ УрО РАН; адрес: 460014, Оренбург, ул. Набережная, д. 29, а/я 59; Тел./факс (3532) 77-06-60; e-mail: geoecol-onc@mail.ru.

LITERATURE

1. Averianov S.F. O vodopronitsayemosti pochvogrunтов pri nepolnom ikh nasyshchenii. Inzh. sb. instituta mekhaniki AN SSSR, 1950. S.14.
2. Budagovskiy A.I. Vpityvaniye vody v pochvu. M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. 140s.
3. Pashkovskiy I.S. Teoreticheskiye osnovy vlagoperenosa v zone aeratsii. MGD. tsikl lektsiy. Dinamika podzemnykh vod. M.: Izd-vo MGU, 1971: 56-80.
4. Golovanov A.I., Novikov O.S. Matematicheskaya model perenosa vlagi i rastvorov soley v pochvogrunтакh na oroshayemykh zemlyakh. Trudy MGMI. 1974. T. 36: 87-95.
5. Leybenzon L.S.. Dvizheniye prirodnykh zhidkostey i gazov v poristoy srede OGIZ. Gosudarstvennoye izdatelstvotekhniko teoreticheskoy literatury. Moskva-Leningrad, 1947.
6. Nesterenko Yu.M. Rol poverkhnostnogo stoka i antropogennykh vozdeystviy v formirovanii vodnykh resursov. Sb. statey «Vodnyye resursy. geologicheskaya sreda i poleznyye iskopyemyye Yuzhnogo Urala». Orenburg, 2000: 52-78.
7. Nesterenko Yu.M. Vodnaya komponenta aridnykh zon: ekologicheskoye i khozyaystvennoye znacheniye. Ekaterinburg: UrO RAN. 2006. 287s.

Образец ссылки на статью:

Соломатин Н.В., Нестеренко Ю.М. Определение результирующей влагопроводности суглинков и потока влаги в зоне аэрации в степной зоне Южного Урала методом изолированных колонн. Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. 1: 9с. [Электр. ресурс] (URL: <http://elmag.uran.ru:9673/magazine/Numbers/2019-1/Articles/NVS-2019-1.pdf>) DOI: **10.24411/2304-9081-2019-11009**.