

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.432.3

А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин
 A.V. Puzanov, S.V. Baboshkina, T.A. Rozhdestvenskaya, S.N. Balykin

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ГОРНО-ЛЕСНЫХ И СТЕПНЫХ ПОЧВ АЛТАЯ КАК ФАКТОР ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МАКРОИОНОВ (МОДЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ПОЧВЕННЫХ КОЛОНКАХ)

WATER PERMEABILITY OF MOUNTAIN-FOREST AND STEPPE SOILS OF ALTAI AS A FACTOR OF MACROION LEACHING (A MODEL EXPERIMENT IN SOIL COLUMNS)

Ключевые слова: почвенные монолиты, плотность сложения, водопроницаемость, впитывание, фильтрация, влагопроводящая структура, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты.

В условиях полевых (методом заливных площадок) и лабораторных (в почвенных колонках) экспериментов исследована водопроницаемость почв водосборных бассейнов модельных рек Северного Алтая (р. Майма, горно-лесная темно-серая почва) и Южноприалайской провинции (р. Алей, чернозем обыкновенный) при различной степени их уплотнения. Методика определения водопроницаемости почв в лабораторных условиях основывалась на измерении расхода воды при ее безнапорной подаче на поверхность почвенных монолитов, отобранных в пластиковые цилиндры, и насыпных почвенных колонок. Количество пропущенной через почву влаги адекватно экстремальным гидрологическим условиям 2013 г. Показано, что водопроницаемость ненасыщенных влагой почв зависит не только от плотности сложения (обратная зависимость), но и определяется начальным уровнем влажности и гранулометрическим составом, причем впитывание быстрее происходит в более увлажненные и тонкодисперсные (тяжелосуглинистые) почвенные образцы, что объясняется более высоким значением капиллярно-сорбционного давления влаги в таких почвах. Неравномерный характер изменения водопроницаемости по мере насыщения почвы влагой определяется структурным состоянием почвы и степенью сохранности в ней основных влагопроводящих путей. Изучен макрокомпонентный химический состав почвенных фильтратов и выявлены некоторые закономерности выщелачивания макроионов (хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция, магния) в зависимости от скорости движения влаги в почве. Неравномерные изменения химического состава последовательно отобранных почвенных фильтратов объясняются чередованием типов движения гравитационной влаги в почве – преимущественного (по проводящим транспортным путям – трещинам, макропорам, межпедному пространству) и фильтрационного (по микropоровому пространству педов). Снижение водопроницаемости в «зонах застоя», при котором увеличивается время контакта влаги с почвенными частицами внутривпедного пространства, стимулирует

процесс водной миграции наиболее растворимых (хлориды и сульфаты – в горно-лесных почвах) или же доминирующих элементов и соединений (гидрокарбонаты кальция – в степных почвах).

Keywords: soil monoliths, bulk density, water permeability, absorption, filtration, water conductivity, chlorides, sulfates, bicarbonates.

Water permeability in soils of different compaction in the catchments of model rivers of North Altai (Mayma River, mountain-forest dark-gray soil) and South Aley province (Aley River, ordinary chernozem) was studied in situ using the flood method and by laboratory experiments with soil columns. The laboratory procedure of soil permeability determination was based on the measurement of water consumption at its free supply to the surface of soil monoliths and bulk soil columns put in plastic cylinders. The amount of water filtrated through the soil correlated with extreme hydrologic conditions observed in 2013. It is shown that water permeability of unsaturated soils depends not only on soil density (reverse dependence), but also on the initial moisture content and particle-size composition of the soils. Wet and fine-dispersed (heavy loamy) soil samples absorb water faster due to higher capillary-sorption pressure of moisture in those soils. Uneven change in water permeability is determined by soil structure and the degree of preservation of its basic ways of moisture transfer. Macrocomponent chemical composition of soil leachates was studied, and some regularities of macroion (chlorides, sulfates, bicarbonates, calcium, magnesium) leaching depending on the rate of water conductivity in soils were detected. Irregular changes in chemical composition of sequentially sampled soil leachates is explained by the alternation of movement types of gravitational moisture in soil, i.e. preferential (via conductive transport ways: cracks, macropores, space within soil peds) and filtration (via micropores of peds) flows. Reduced permeability in "the stagnation zones" is accompanied by the increase in contact time of water with soil particles in peds' micropores and stimulates the process of water migration of the most soluble (chlorides and sulfates - in mountain forest soils) or dominant elements and compounds (hydrocarbons calcium - in steppe soils).

Пузанов Александр Васильевич, д.б.н., проф., зам. директора по научной работе, Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Бабошкина Светлана Вадимовна, к.б.н., с.н.с., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. E-mail: svetlana@iwep.ru.

Рождественская Тамара Анатольевна, к.б.н., с.н.с., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. E-mail: rtamara@iwep.ru.

Балыкин Сергей Николаевич, к.б.н., с.н.с., Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул. E-mail: BalykinS@rambler.ru.

Puzanov Aleksandr Vasilyevich, Dr. Bio. Sci., Prof., Deputy Director for Research, Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Baboshkina Svetlana Vadimovna, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. E-mail: svetlana@iwep.ru.

Rozhdestvenskaya Tamara Anatolyevna, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. E-mail: rtamara@iwep.ru.

Balykin Sergey Nikolayevich, Cand. Bio. Sci., Senior Staff Scientist, Institute for Water and Environmental Problems, Sib. Branch of Rus. Acad. of Sci., Barnaul. E-mail: BalykinS@rambler.ru.

Введение

Одним из главных факторов формирования гидрохимического стока является почвенно-биогеохимическая обстановка водосборного бассейна. Роль почвы и почвенных растворов в водном механизме планеты неоднократно подчеркивалась В.И. Вернадским [1, 2] и Б.Б. Польшовым [3]. В гидрохимических исследованиях инфильтрация атмосферных осадков через почву рассматривается как этап биогенной, химической и физико-химической трансформации природных вод [4, 5]. Роль водосбора, как основного фактора формирования гидрохимического стока, хотя и признается большинством исследователей и активно изучается, но полностью до сих пор не раскрыта [6-9]. Как среда важного этапа круговорота воды и вещества в природе почва, по большому счету, остается для исследователей гидрохимического стока «черным ящиком». В данной работе предпринята попытка изучения радиального внутрипочвенного стока, как важной части гидрохимического стока водосборных бассейнов рек Алтая (считается, что в выносе веществ с водосбора роль радиального стока равноценна латеральному [10]).

Важным водно-физическим свойством почвы, определяющим ее водный баланс, является водопроницаемость. От водопроницаемости почвы зависят восприятие ею атмосферных осадков или поливных вод, интенсивность водной эрозии, формирование поверхностного и внутрипочвенного гидрохимического стока [11]. Водопроницаемость почв характеризуется большой изменчивостью и зависит от плотности сложения почвы, структурности, гранулометрического и химического состава, скважности и длительности увлажнения. Процесс водопроницаемости включает в себя две стадии: 1) быстрое впитывание свободной воды в ненасыщенную влагой почву и 2) медленное и стабильное движение воды в почве, поры которой полностью заполнены водой – фильтрацию. В момент окончания насыщения почвы влагой

скорость потока перестает снижаться и принимает постоянное значение коэффициента фильтрации (K_f), который является величиной, отражающей основные водно-физические свойства почвы [12]. В природной обстановке, в большинстве случаев, четкое разграничение процессов впитывания и фильтрации отсутствует [11].

В реальных условиях в почвах виды фильтрации различаются по напору, направлению и динамике тока воды, по наличию вихревых явлений в потоке [12]. В работе рассматривали классический случай безнапорной фильтрации, когда давление на фильтрующую поверхность близко или равно атмосферному, как при поступлении осадков в почву.

Регламентируемые методики (ГОСТ 25584-90) определения коэффициента фильтрации разработаны и применяются для грунтов, однородных по структуре и сложению [13, 14]. Водопроницаемость почв, как правило, определяется полевым методом по принципу малых заливаемых площадок [11, 12]. При одновременном изучении водопроницаемости и состава почвенных растворов часто используются лизиметры, построенные по методу изолированных колонн, или же открытые ворончатые лизиметры. Недостаток лизиметров первого типа – пристенная утечка воды, второго – неизвестность площади, с которой в него собирается вода. Водопроницаемость почвы, дренированной лизиметрами, завышена, а почвенный раствор получается разбавленным [11].

Считается, что в лабораторных условиях изучение водопроницаемости ненарушенных образцов почв и их растворов вполне приемлемо, хотя обладает рядом недостатков, основной из которых – сильнейший дренаж почвенного образца. Получающиеся по этой методике результаты определения водопроницаемости завышены, но могут расцениваться как качественно-количественные показатели [11]. Отметим, что расчет коэффициента фильтрации по физическим свойствам почвы, например, по порозности, считается

задачей очень проблемной, поэтому экспериментальное определение водопроницаемости все-таки предпочтительнее [12].

Методика моделирования процесса становления фильтрации и определения водопроницаемости в почвах с ненарушенной структурой, а также с разной степенью уплотнения основывалась на измерении расхода воды при пропуске ее без напора (дождеванием) в лабораторных условиях через почвенные монолитные (природного сложения) и насыпные колонки, отобранные в пластиковые цилиндры. Мы учитывали, что полученные таким способом результаты определения водопроницаемости получатся завышенными, поэтому в местах отбора монолитов проводилось определение водопроницаемости полевым методом заливных площадок.

Цель исследования – установить влияние водопроницаемости почвы на интенсивность выщелачивания из нее макроэлементов с радиальным внутрпочвенным стоком.

Задачи исследования:

1) в условиях лабораторного эксперимента исследовать водопропускную способность горно-лесных (бассейн р. Майма) и степных (бассейн р. Алей) почв при различной степени их уплотнения в результате воздействия разных видов антропогенных нагрузок;

2) определить факторы, влияющие на изменчивость водопроницаемости;

3) сравнить содержание основных макроионов в фильтраатах горно-лесной почвы и чернозема обыкновенного на различных этапах эксперимента;

4) проанализировать основные тенденции изменения макрокомпонентного состава почвенных фильтратов горно-лесных и степных почв при изменении их водопроницаемости.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны основные типы почв водосборных бассейнов модельных рек Майма (приток 1-го порядка р. Катунь, Северный Алтай) и Алей (степная область Южноприаляйской физико-географической провинции) [15, 16]. Водосборный бассейн р. Майма представлен преимущественно горно-лесными темно-серыми почвами под смешанными березово-пихтовыми лесами. Основными типами почв водосборного бассейна р. Алей в среднем и нижнем течении являются черноземы южные и обыкновенные, большей частью распаханые.

Исследования проводили в 2013 г., который отличался экстремально высокой водностью. Для отбора почвенных колонок использовались пластиковые цилиндры диаметром 110 мм и высотой 250 мм. Почвенные монолиты в колонках отбирали в трех повторно-

стях для каждого из трех вариантов с разной плотностью сложения: 1) естественные условия; 2) уплотненный вариант («тропа» в лесу или «дорога» в степи); 3) вариант с разрыхлением – пашня (чернозем обыкновенный) или насыпные колонки, в которые помещалась горно-лесная почва (имитация условий пашни).

Почвенные колонки в цилиндрах устанавливали вертикально, на дно сосудов помещали перфорированные пластиковые перегородки и мелкаячеистые сетки. Для отвода гравитационных вод использовали пластиковые воронки. Образцы во всех вариантах доводили до уровня полевой влажности на момент отбора, после чего начинали фильтрационные работы. Дистиллированная вода на поверхность монолитов подавалась порциями, соответствующими 10 мм осадков. В ходе эксперимента фиксировалось время впитывания каждой порции. По этим данным были построены кривые изменения водопроницаемости почв с течением времени. Полученные величины водопроницаемости в почвенных колонках сопоставлялись с результатами полевого определения водопроницаемости методом заливных площадок. Влажность весовым методом определялась в начале эксперимента перед дождеванием, а также в конце, для верхнего и нижнего пятисантиметрового слоя почвенной колонки, после гравитационного оттока влаги. На момент начала просачивания влажность рассчитывалась, исходя из ее начального значения, объема прилитой воды и объема фильтрата, полученного на данный момент.

Полученные после насыщения почвы влагой величины скорости потока q_w (мм/мин.) считали коэффициентом фильтрации при единичном градиенте гидравлического напора, поскольку при безнапорном дождевании отношение разности уровней воды в начале и в конце пути фильтрации к высоте фильтрующей колонки ($\Delta h/l$) близко к 1 [12].

За время эксперимента при безнапорном впитывании (дождевании) до постоянной скорости просачивания через колонки с горно-лесной почвой было пропущено 700 мм осадков, что соответствует среднегодовой норме осадков за активный биогеохимический период. Через колонки с черноземом обыкновенным было пропущено влаги в количестве, соответствующем дождливому лету 2013 г. (450 мм).

Почвенные фильтраты в количестве 500 мл (необходимый для химического анализа объем жидкости) отбирали через 6-8 измерений водопроницаемости, за этот период рассчитывалось средневзвешенное значение скорости потока. Полученные фильтраты пропускали через мембранный фильтр, после чего в них определяли содержание основных поч-

венных макроионов (хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, нитратов, кальция, магния) по стандартным методикам с титриметрическим или фотоколориметрическим окончанием [17]; гранулометрический состав почв – по методу Качинского, влажность – весовым методом, рН и Eh – потенциометрически [17, 18].

Результаты исследования

По основным физическим и химическим показателям все три варианта темно-серой лесной почвы практически не отличаются между собой, тогда как показатели плотности сложения, на основе которых мы проводили разделение вариантов на «естественное состояние», «уплотнение» и «разрыхление», отличаются довольно заметно – в 1,3-1,4 раза (табл. 1). Кроме того, уплотненный вариант характеризуется более низким значением Eh (геохимической обстановкой, переходной от окислительной к восстановительной). Измерения водопроницаемости во всех вариантах темно-серой лесной почвы начинали при естественном (на момент отбора проб) исходном уровне влажности 62-66%, который соответствует наименьшей полевой влагоемкости (полевым работам предшествовал период продолжительных дождей).

Просачивание влаги через колонку с горно-лесной темно-серой почвой начиналось при увеличении ее влажности с 62-65 до

68-73%. Начальная влагопроводность составляла 74-75 мм/мин. (<1000 см/сут.), что по классификации Качинского соответствует излишне высокой водопроницаемости [11].

Водопроницаемость темно-серой лесной почвы в условиях уплотнения существенно ниже, чем в вариантах неуплотненной почвы (табл. 2). Постоянная скорость фильтрации устанавливалась более продолжительный период (более 6 ч), но достигалась меньшим количеством осадков (при суммарном впитывании Q = 240-260 мм).

В варианте насыпных колонок с горно-лесной темно-серой почвой исходная влагопроводящая структура межагрегатного пространства нарушена, поэтому, несмотря на большую скважность, высокие показатели суммарного впитывания и скорости впитывания влаги на начальном этапе, постоянная скорость фильтрации в разрыхленной горно-лесной почве сравнима с таковой в уплотненном образце (табл. 2). Полученные нами Kф в насыпном монолите попадают в диапазон Kф для суглинистых почв [12].

Истинную скорость движения воды в почве, которая реально фильтруется не по всей площади монолита, а лишь через поперечник пор, мы рассчитали по формуле $u = \frac{Q}{P}$, где u – скорость фильтрации, P – коэффициент пористости в долях единицы [11].

Таблица 1

Основные физические и химические свойства горно-лесной темно-серой почвы бассейна р. Майма в различных по сложению вариантах

Показатель	Сложение почвенного образца		
	естественное	уплотненное	разрыхленное
Плотность сложения, г/см ³	0,68±0,03	0,85±0,04	0,61±0,03
Плотность твердой фазы, г/см ³	2,18±0,03	2,21±0,03	2,28±0,02
Скважность, %	68,8	61,4	73,5
Содержание ила, %	12,0±1,1	14,6±1,3	13,2±1,0
Содержание физической глины, %	55±4	48±5	56±4
Содержание гумуса, %	13,6±0,6	13,5±0,7	13,5±0,5
рНвод. почвенного раствора	5,3±0,1	5,4±0,1	5,4±0,1
Eh	211±5	198±5	216±7

Таблица 2

Водно-физические свойства горно-лесной темно-серой почвы в различных по сложению вариантах

Показатель	Сложение почвенного образца		
	естественное	уплотненное	разрыхленное
Начальная скорость впитывания влаги (влагопроводность), мм/мин.	74-75	8-11	52-54
Постоянная скорость фильтрации, мм/мин.	3,3-4,5	0,3-0,4	0,5-0,7
Время становления постоянной скорости фильтрации, ч	1,5-2 ч	6 ч	4,5 ч
Количество осадков для достижения постоянной водопроницаемости (Q), мм	650-700	250	400
K _{ф10} (коэффициент фильтрации, приведенный к температуре 10°С)	2,3-3,1	0,2-0,4	-
Коэффициент фильтрации, определенный полевым методом, мм/мин.	0,8	0,06	-
Скорость движения гравитационной влаги в порах, мм/мин.	4,8-6,5	0,5-1,0	0,7-1,0

Известно, что с повышением температуры воды снижается вязкость и уменьшается плотность воды. Используя температурную поправку Хазена [11], мы привели коэффициент фильтрации, полученный в лабораторных условиях при температуре воды 25°C, к температуре 10°C, близкой к температуре речной воды, которой выполняли заливку площадок в поле: $K_{10} = \frac{K_t}{0.7+0.03t}$. Оказалось, что значение K_{ϕ} , полученного в лаборатории в почвенных колонках и приведенного по Хайзену, более близко к значению K_{ϕ} , полученному в полевых условиях, в случае с естественным по уплотнению и сложению вариантам горно-лесной почвы (табл. 2).

Содержание гумуса в черноземе обыкновенном (среднее течение р. Алей) сравнительно невысокое и изменяется от 2,4% в распаханном варианте до 3,4% в варианте «залежь». Гранулометрический состав – легкий и среднесуглинистый. Чернозем обыкновенный отличается слабощелочной реакцией среды и более высоким (чем горно-лесная почва) значением окислительно-восстановительного потенциала (223-256 мВ). Плотность сложения верхнего горизонта чернозема в варианте «дорога» ($1,16 \pm 0,04$ г/см³) в 1,1-1,3 раза выше плотности почвы в вариантах «залежь» ($0,88 \pm 0,08$ г/см³) и «пашня» ($1,03 \pm 0,05$ г/см³). Кроме того, плотность чернозема обыкновенного выше плотности горно-лесной темно-серой почвы, а скважность, наоборот, ниже ($54 \pm 1\%$ в уплотненном варианте и $59 \pm 2\%$ пашня, $68 \pm 2\%$ залежь). Измерения водопроницаемости в колонках с черноземом обыкновенным проводили при одном исходном уровне влажности, соответствующем полевой влажности на момент отбора – 15-17%.

Несмотря на более легкий, чем горно-лесной почвы, гранулометрический состав и низкую влажность монолитов, начальная скорость впитывания влаги в чернозем обыкновенный распаханый составляла всего 35-38 мм/мин. (уже через 15 мин. снизилась до 4 мм/мин.), тогда как теплопроводность тяжелосуглинистой темно-серой лесной почвы (вариант «пашня») была заметно выше – 52-54 мм/мин. (табл. 2). То, что более сухая почва (в нашем случае, чернозем обыкновенный) хуже проводит воду, чем влажная (горно-лесная темно-серая), объясняется тем, что в сухой почве капиллярно-сорбционное давление почвенной влаги существенно снижено [12]. Кроме того, теплопроводность (впитывание влаги в сухую почву) более крупнопористых (песчаных) субстратов ниже, чем суглинистых образований из-за того, что более тонкопористый и плотный материал развивает большие капиллярные силы и лучше «отсасывает» влагу [19].

Существенную роль в определении инфильтрационных свойств играет и более высокая плотность сложения чернозема.

Просачивание влаги в колонке с черноземом начиналось после приливания 45 мм осадков, при достижении влажности образца 21-23%. Постоянная скорость фильтрации в среднесуглинистом черноземе пашни устанавливалась при влажности 35-38%, через 5,5-6,5 ч после начала дождевания и составляла 0,9-1,1 мм/мин. Для сравнения, по литературным данным, водопроницаемость чернозема среднесуглинистого обыкновенного составляла 1,2 мм/мин. при влажности 32% [11]. K_{ϕ} легкосуглинистого чернозема пашни в бассейне р. Алей все же несколько выше, чем K_{ϕ} тяжелосуглинистых, но более рыхлых лесных почв бассейна р. Майма (вариант «пашня», $K_{\phi}=0,5-0,7$ мм/мин.) – в условиях насыщения влагой водопроницаемость более легких по гранулометрическому составу почв выше [12]. Оказалось, что водопроницаемость среднесуглинистого чернозема обыкновенного распаханного (на стадии фильтрации) заметно выше и водопроницаемости тяжелосуглинистой горно-лесной почвы естественного сложения. K_{ϕ} чернозема пашни сравним по значению с K_{ϕ} горно-лесной почвы нарушенной структуры (насыпная колонка). Действительно, «оструктуренность почвы в корне меняет все физические их свойства, особенно водопроницаемость» [11, с. 32].

В уплотненном варианте чернозема обыкновенного начальная скорость впитывания влаги не превышала 2,5 мм/мин., но просачивание, как и в случае с неуплотненным вариантом, начиналось уже при влажности образца 17% после дождевания образца 60 мм осадков, постоянная скорость фильтрации составляла не более 0,05 мм/мин., или 7,2 см/сут., преобразованный по Хазену $K_{\phi 10}$ составляет 4,9 см/сут. (почва считается непроницаемой [12]).

В результате наших исследований установлено, что почвы одного типа, но разной степени уплотнения и оструктуренности отличаются по характеру изменения водопроницаемости (рис. 1). В горно-лесной темно-серой почве насыпных колонок и в монолитах с уплотненными почвами водопроницаемость снижается плавно и достигает константы при меньшем количестве осадков. В почвах естественного сложения, хорошо оструктуренных, сквозной перенос влаги начинается раньше, происходит быстрее, но снижение водопроницаемости происходит скачкообразно. Колебания и неравномерное снижение водопроницаемости в лесной почве естественного сложения объясняются чередованием движения влаги сначала по т.н. преимущественным путям [20, 21] (трещинам, макропорам, межпедовому пространству), оги-

бая педы и агрегаты, а затем по застойным зонам (микропорам внутривпедного пространства). После того как «проводящие» зоны быстро заполняются водой, происходит медленное увлажнение зоны внутривпедного пространства влагой транспортных зон [21]. В то время, как транспортные зоны опустошаются, проведя основной поток влаги, происходит скачок водопроницаемости, что отражает возобновление движения влаги по освобожденным крупным порам и трещинам (рис. 1). В вариантах горно-лесной темно-серой почвы с нарушенной влагопроводящей структурой (уплотненных или разрыхленных) поровое пространство довольно однородно, и вода пропитывает почву более или менее сплошным фронтом, постепенно.

Рассмотрим динамику содержания основных анионов и катионов в почвенных фильтрах горно-лесной почвы и чернозема обыкновенного при различной водопроницаемости. Поскольку в первую очередь миграция почвенных растворов происходит по преимущественным путям (макропорам и трещинам), большая часть веществ и соединений не успевают взаимодействовать с почвенной матрицей, и почва почти не проявляет по отно-

шению к ним ни своих сорбционных, ни обменных свойств [22, 23]. Поэтому до выравнивания водопроницаемости проливаемых почв ненарушенного сложения содержание всех исследуемых макроэлементов в их фильтрах уменьшается (рис. 2).

После выравнивания скорости потока содержание хлоридов и сульфатов (натрия и калия) в фильтрах горно-лесной почвы начинает расти и достигает к концу эксперимента (на стадии фильтрации) первоначальной концентрации (рис. 2). Во время фильтрации влага постепенно проникает в микропоры внутривпедного пространства и начинает переводить в раствор различные «запасные» соединения, а из них, в первую очередь, лучше растворимые – хлориды натрия, калия (в лесных почвах) (рис. 2). Отметим, что ионы Cl^- более подвижны в почвах, чем SO_4^{2-} , тогда как растворимость сульфатов в водах не столь высока, как растворимость хлоридов. Поэтому спад, а затем подъем их концентрации при снижении водопроницаемости и увеличении времени контакта воды с почвой хотя и наблюдаются, но не столь выражены, как у хлоридов (рис. 2) [22, 24, 25].

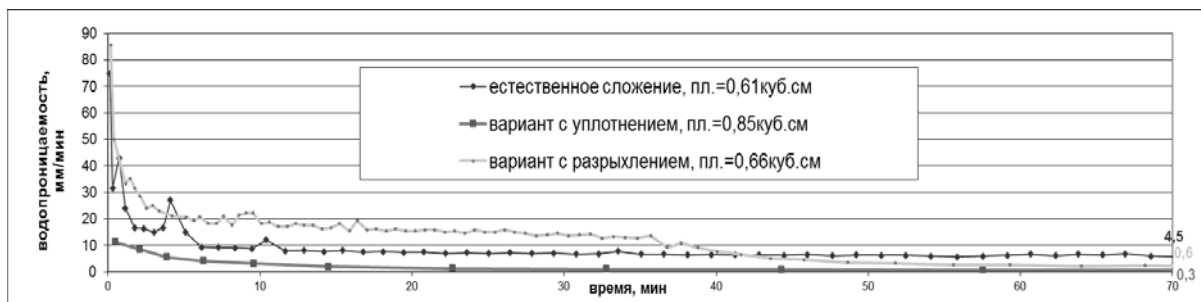


Рис. 1. Изменение во времени водопроницаемости горно-лесной темно-серой почвы разной плотности сложения

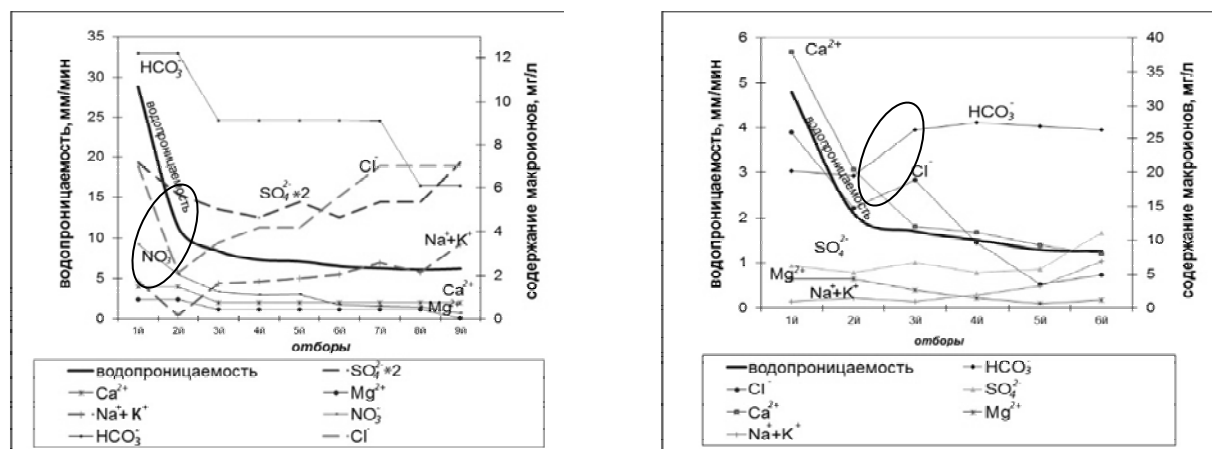


Рис. 2. Изменение водопроницаемости и макрокомпонентного состава почвенных фильтратов по мере их непрерывного насыщения влагой: а) горно-лесных (бассейн р. Майма) почв; б) степных равнинных (бассейн р. Алей) почв

Таким образом, по мере дождевания колонок с хорошо оструктуренными почвами, более растворимые (хлориды и сульфаты в горно-лесных почвах) или более значимые в данной геохимической обстановке (гидрокарбонаты – в почвах степных ландшафтов) соединения «успевают» при снижении скорости движения влаги в застойных зонах переходить в раствор, степень их выщелачиваемости со снижением водопроницаемости почвы растёт.

Выводы

1. Плотность сложения почвы в большей степени определяет начальную влагопроводность и суммарное впитывание до становления постоянной скорости фильтрации, тогда как последняя, в свою очередь, сильнее зависит от структурности почвы и наличия в ней устоявшихся влагопроводящих транспортных зон. В условиях насыщения влагой водопроницаемость выше в супесчаных почвах, а впитывание лучше происходит в суглинистые почвы.

2. Неравномерное снижение водопроницаемости в почвах естественного сложения объясняется чередованием движения влаги по зонам транспорта (трещинам, крупным порам, межпедовому пространству) и застойным зонам (более тонкопористому внутрипедному пространству).

3. По мере снижения и выравнивания скорости водопроницаемости происходит увеличение времени контакта влаги с почвенными частицами внутрипедного пространства «застойной зоны», что способствует дополнительному вовлечению в водную миграцию наиболее растворимых (хлориды, сульфаты – в лесных почвах) или наиболее значимых в данном типе ландшафта (гидрокарбонаты – в степных почвах) макроионов.

Библиографический список

1. Вернадский В.И. Очерки геохимии. – 7-е изд. (4-е рус.). – М.: Наука, 1983. – 422 с.

2. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т. 2. История природных вод. – Госхимтехиздат, Ленинградское отделение, 1933. – 205 с.

3. Полюнов Б.Б. Избранные труды / под ред. И.В. Тюрина, А.А. Саукова, со вступ. ст. А.И. Перельмана. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 751 с.

4. Шилькрот Г.С. Механизмы, управляющие химическим составом речных и озерных вод // Изв. Рос. АН. (Серия геогр.). – 1998. – № 4. – С. 42-59.

5. Кузьмин В.А. Химический состав вод притоков юго-западного и южного Байкала и его связь с природной обстановкой // География и природные ресурсы. – 1998. – № 1. – С. 70-77.

6. Роде А.А. Почвоведение. – Гослесбумиздат, 1955. – 291 с.

7. Алекин О.А., Бражникова Л.В. Сток растворенных веществ с территории СССР. – М.: Наука, 1964. – 143 с.

8. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Эколого-геохимическое состояние крупных притоков Средней Оби // Водные ресурсы. – 1997. – № 6. – С. 762-768.

9. Кирста Ю.Б., Пузанов А.В., Бабошкина С.В. Модель стока взвешенных веществ и оценка среднемноголетнего выноса тяжелых металлов по данным единичных наблюдений // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 3 (3). – С. 921-926.

10. Шитикова Т.Е. Состав лизиметрических вод дерново-подзолистых почв // Почвоведение. – 1986. – № 4. – С. 27-38.

11. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. 2. Водно-физические свойства и режимы почв. – М.: Высшая школа, 1970. – 358 с.

12. Шеин Е.В. Курс физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

13. Булычев В.Г. Механика дисперсных грунтов. – М.: Недра, 1974. – С. 63.

14. Балыкин Д.Н. Водопроницаемость глинистых грунтов Рубцовского рудника (с. Потеряевка. Алтайский край) // Мир науки, культуры, образования. – 2011. – № 6-2. – С. 416-417.

15. Маринин А.М., Самойлова Г.С. Физическая география Горного Алтая: учебное пособие по спецкурсу. – Барнаул: БГПИ, 1987. – 110 с.

16. Винокуров Ю.И., Цимбалей Ю.М. Региональная ландшафтная структура Сибири: монография. – Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та. – 96 с.

17. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почвы. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.

18. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

19. Дмитриев Е.А., Щеглов В.Н. Напорное впитывание влаги в вертикально-слоистые песчаные колонки (модельные опыты) // Научные доклады высшей школы, биологические науки. – 1981. – № 11. – С. 91-95.

20. Дмитриев Е.А., Хохрина Т.К. О путях передвижения впитывающейся в почву влаги. Проблемы сельскохозяйственной науки в МГУ. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – С. 123-126.

21. Умарова А.Б., Иванова Т.В., Кирдяшкин П.И. Гравитационный поток влаги и его роль в эволюции почв: прямые лизиметрические исследования // Вестник ОГУ. – 2006. – № 6. – С. 102-109.

22. Шеин Е.В., Кокорева А.А., Горбатов В.С., Умарова А.Б., Колупаева В.Н., Первертин К.А. Оценка чувствительности, настройка и сравнение математических моде-

лей миграции пестицидов в почве по данным лизиметрического эксперимента // Почвоведение. – 2009. – № 7. – С. 826-835.

23. Beven K., Gernann P. Macropores and water flow in soils revisited // Water resources research. – 2013. – № 6. – V. 49. – P. 3071-3092.

24. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 1995. – 264 с.

25. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии. – Киев: Наукова думка, 1987. – 829 с.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по проекту VIII.76.1.4. «Биогеохимические и почвенно-гидрологические процессы на водосборах и их влияние на формирование гидрохимического стока в природных и антропогенных ландшафтах Сибири».

References

1. Vernadskii V.I. Ocherki geokhimii. – 7-e (4-e rus.) izd. – M.: Nauka, 1983. – 422 s.

2. Vernadskii V.I. Istoriya mineralov zemnoi kory. T.2. Istoriya prirodnykh vod. – Goskhimtekhnizdat, Leningradskoe otdelenie, 1933. – 205 s.

3. Polynov B.B. Izbrannye trudy / pod red. I.V. Tyurina, A.A. Saukova, so vstup. st. A.I. Perel'mana. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1956. – 751 s.

4. Shil'krot G.S. Mekhanizmy, upravlyayushchie khimicheskim sostavom rechnykh i ozernykh vod // Izv. Ros. AN. Seriya geogr. – 1998. – № 4. – S. 42-59.

5. Kuz'min V.A. Khimicheskii sostav vod pritokov yugo-zapadnogo i yuzhnogo Baikala i ego svyaz' s prirodnoi obstanovkoi // Geografiya i prirodnye resursy. – 1998. – № 1. – S. 70-77.

6. Rode A.A. Pochvovedenie. – Goslesbuzmizdat, 1955. – 291 s.

7. Alekin O.A., Brazhnikova L.V. Stok rastvorennykh veshchestv s territorii SSSR. – M.: Nauka, 1964. – 143 s.

8. Shvartsev S.L., Savichev O.G. Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie krupnykh pritokov Srednei Obi // Vodnye resursy. – 1997. – № 6. – S. 762-768.

9. Kirsta Yu.B., Puzanov A.V., Baboshkina S.V. Model' stoka vzveshennykh veshchestv i otsenka srednemnogoletnego vynosa tyazhelykh metallov po dannym edinichnykh nablyudeniim // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2013. – Tom 15. – № 3 (3). – S. 921-926.

10. Shitikova T.E. Sostav lizimetriceskikh vod dernovo-podzolistykh pochv // Pochvovedenie. – 1986. – № 4. – S. 27-38.

11. Kachinskii N.A. Fizika pochvy. Ch. 2. Vodno-fizicheskie svoistva i rezhimy pochv. – M.: Vysshaya shkola, 1970. – 358 s.

12. Shein E.V. Kurs fiziki pochv. – M.: Izd-vo MGU, 2005. – 432 s.

13. Bulychev V.G. Mekhanika dispersnykh gruntov. – M.: Nedra, 1974. – S. 63.

14. Balykin D.N. Vodopronitsaemost' glinistykh gruntov Rubtsovskogo rudnika (s. Poteryaevka. Altaiskii krai) // Mir nauki, kultury, obrazovaniya. – 2011. – № 6-2. – S. 416-417.

15. Marinin A.M., Samoilova G.S. Fizicheskaya geografiya Gornogo Altaya: uchebnoe posobie po spetskursu. – Barnaul, BGPI, 1987. – 110 s.

16. Vinokurov Yu.I., Tsimbalei Yu.M. Regional'naya landshaftnaya struktura Sibiri: monografiya. – Barnaul, Izd-vo Altaiskogo un-ta. – 96 s.

17. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochvy. – M.: Izd-vo MGU, 1970. – 487 s.

18. Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv. – M.: Nauka, 1975. – 656 s.

19. Dmitriev E.A., Shcheglov V.N. Napornoe vpityvanie vlagi v vertikal'no-sloistye peschanye kolonki (model'nye opyty) // Nauchnye doklady vysshei shkoly, biologicheskie nauki. – 1981. – № 11. – S. 91-95.

20. Dmitriev E.A., Khokhrina T.K. O putyakh peredvizheniya vpityvayushchey v pochvu vlagi. Problemy sel'skokhozyaistvennoi nauki v MGU. – M.: Izd-vo MGU, 1975. – S. 123-126.

21. Umarova A.B., Ivanova T.V., Kiryashkin P.I. Gravitatsionnyi potok vlagi i ego rol' v evolyutsii pochv: pryamye lizimetriceskie issledovaniya // Vestnik OGU. – 2006. – № 6. – S. 102-109.

22. Shein E.V., Kokoreva A.A., Gorbato V.S., Umarova A.B., Kolupaeva V.N., Perevertin K.A. Otsenka chuvstvitel'nosti, nastroyki i sravnenie matematicheskikh modelei migratsii pестицидов v почве по данным лизиметрического эксперимента // Pochvovedenie. – 2009. – № 7. – S. 826-835.

23. Beven K., Gernann P. Macropores and water flow in soils revisited // Water resources research. – 2013. – No. 6. – V. 49. – P. 3071-3092.

24. Rastvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., Fedorova N.N. Khimicheskii analiz pochv. – SPb., Izd-vo S-Pb un-ta, 1995. – 264 s.

25. Goronovskii I.T., Nazarenko Yu.P., Nekryach E.F. Kratkii spravochnik po khimii. – Kiev: Naukova dumka, 1987. – 829 s.

