

Почвенный раствор: от классических представлений к современным понятиям

Soil solution, from classical notions to modern concepts

Т.В. Раудина

T.V. Raudina

Томский государственный университет, tanya_raud@mail.ru

Аннотация. Почвенный раствор играет большую роль в почвообразовательных процессах, биохимических и физико-химических реакциях почвы, круговороте и обмене веществ и питании растений. В почвенном растворе (или с его участием) происходят процессы разрушения и синтеза органических веществ, вторичных минералов и органоминеральных соединений. Несмотря на важнейшую роль почвенных растворов в жизни почв, их изучение связано с многочисленными трудностями, что обусловлено нерешенностью ряда теоретических и методических проблем. Изучение состава почвенного раствора имеет важное значение для диагностики процессов деградации почв, почвенного мониторинга и для оценки критических нагрузок на почвы.

Ключевые слова: жидкая фаза почвы, понятие о почвенном растворе, методы выделения, значение для функционирования почв.

Актуальность. Роль почвенных растворов в формировании и функционировании почв трудно переоценить. Многие известные исследователи уделяли внимание этому вопросу, выделяя различные аспекты значения растворов в жизни почвы. Большой вклад в изучение состава, динамики почвенного раствора, в разработку методов выделения почвенного раствора внесли Гедройц К.К., Дояренко А.Г., Шмук А.А., Захаров С.А., Роде А.А., Крюков П.А., Комарова Н.А., Шилова Е.И., Снакин В.В. и др.

Различными исследователями было проведено много лабораторных, модельных и полевых экспериментов по изучению состава и свойств почвенных растворов, однако, интерпретация полученных результатов и выводы далеко не однозначны. Одной из причин неоднозначности является то, что выделение почвенного раствора сопряжено с немалыми теоретическими и методическими трудностями.

Почвенные растворы играют исключительно важную роль в процессе почвообразования, так как все процессы химического и биологического превращения органических и минеральных соединений совершаются при непосредственном участии жидкой фазы почвы. Различными формами почвенной влаги происходят трансформация продуктов выветривания и разложения органического вещества, процессы растворения и новообразования минералов и осуществляется миграция элементов. Формируясь за счет и

при помощи атмосферных осадков и фильтруясь через почву химический состав воды претерпевает большие изменения. Но количество влаги и химический состав почвенных растворов меняется в широких пределах, так как уровень концентрации и динамика контролируются множеством факторов (растворимость солей, величина pH и реакции ионного обмена и др.) [1]. Особое значение имеет характеристика состава почвенных вод как фазы почвы, наиболее ярко отражающей качественный и количественный состав наиболее подвижных и доступных форм элементов. Анализ почвенных вод позволяет получить сведения о динамических процессах, происходящих в почве, и составить точное представление о современных процессах почвообразования [2–5].

Понятие о почвенном растворе. Рассматривая почвенную влагу как одну из самых важных категорий природных вод в биосфере, В.И. Вернадский [6] считал ее «основным субстратом жизни» и «основным элементом механизма биосферы». Она отвечает за подвижность элементов в почвенном профиле, определяя перераспределение веществ по генетическому профилю почвы и вынос их в сопредельные среды.

Несмотря на важнейшую роль почвенных растворов в жизни почв, их изучение связано с многочисленными трудностями, что обусловлено нерешенностью ряда теоретических и методических проблем. Среди исследователей нет единой точки зрения на то, что следует понимать под термином «почвенный раствор». А.Е. Возбуцкая [7] и некоторые зарубежные авторы [8, 9] считают синонимами термины «жидкая фаза почвы» и «почвенный раствор». В Толковом словаре по почвоведению [10] раствор определен как «вода, находящаяся в почве и содержащая растворенные вещества – ионы, большинство из которых присутствуют в золе растений». Согласно А.А. Роде [11], «почвенный раствор – вода, находящаяся в почве и содержащая в растворенном состоянии органические и минеральные вещества и газы». Эти определения не поясняют, все ли формы воды в почве входят в почвенный раствор. По определению Г. Спозито [12], «почвенный раствор – это особая динамическая открытая природная водная система, состав которой чутко отражает множество реакций, которые могут происходить одновременно между водным раствором и смесью минеральных и органических твердых частиц, которая сама по себе меняется как во времени, так и в пространстве». Д.С. Орлов [13] дополняет понятие почвенный раствор», справедливо определяя его как жидкую часть почвы в природных условиях.

Данные определения передают суть понятия и отражают некоторые черты такой системы как почвенный раствор, но не поясняют, все ли формы воды в почве могут быть отнесены к почвенному раствору. Поэтому были предприняты попытки более строгого и глубокого определения рассматриваемого понятия. Так, Д.С. Орлов, М.С. Малинина и др. [14] называют почвенным раствором – «раствор химических веществ в воде, который находится

в квазиравновесии с твердыми твердой и газообразной фазами почвы и заполняет ее поровое пространство». В.В. Снакин [15] в самом широком смысле связывает понятие почвенного раствора с капиллярной водой. В.Ф. Вальков и др. [16] в определении почвенного раствора подчеркивают, что к почвенному раствору относится «свободная и рыхлосвязанная вода, наполняющая капиллярные промежутки и пространства между агрегатами, содержащая в растворенном и коллоидном состоянии некоторые газы, минеральные, органо-минеральные и органические вещества». Объем почвенного раствора равен объему почвенной влаги за исключением воды на уровне максимально гигроскопической влажности. Физически прочносвязанная вода не входит в состав почвенного раствора. Проблематично к почвенному раствору отнести гравитационно просачивающуюся воду, проходящую почвенные горизонты по крупным трещинам и ходам корней и животных. Кроме того, как отмечает В.В. Снакин [17], ее состав сильно зависит от количества и режима выпадения осадков и может нести отпечаток состава снега, дождя или поливной воды, а также взаимодействия с наземными частями растений, опадом и атмосферой, отличной по составу от почвенного воздуха. С этой формой влаги связаны так называемые лизиметрические воды, исследования которых представляют большой интерес не столько с точки зрения питания растений, сколько при изучении миграции веществ по почвенному профилю. Учитывая, что капиллярная и гравитационная влага находятся в одной почве, и капиллярная влага является одним из источников формирования гравитационного потока, их состав, в целом, близок. Однако имеются и различия. Поскольку гравитационная вода быстро фильтруется сквозь почву, не достигая состояния равновесия с твердыми фазами, ее состав менее четко отражает свойства и генетические особенности данной почвы [17].

Прочносвязанная влага, в отличие от гравитационной, стабильна, неподвижна, недоступна растениям и имеет особые физические свойства: в частности, она не растворяет вещества, растворимые в свободной воде. Эти особенности делают ее менее информативной для изучения почвы. В то же время основной частью жидкой фазы в большинстве почв является капиллярная (поровая) влага. Эта фракция почвенной влаги более стабильна, чем гравитационная, близка к состоянию квазиравновесия, в наибольшей степени доступна растениям и преимущественно исследуется при измерениях *in situ*. Поэтому многие исследователи отождествляют понятие почвенного раствора именно с этой категорией влаги.

Поскольку и капиллярная, и гравитационная влага находятся под воздействием одной почвы, то и состав почвенных растворов и лизиметрических вод генетически близок, поэтому некоторые авторы рассматривают лизиметрическую гравитационную

воду и капиллярный почвенный раствор, как различные фракции почвенного раствора, различающиеся по химическому составу и (или) соотношению компонентов [18]. Также данная точка зрения подтверждает, что к почвенному раствору должны быть отнесены все формы почвенной влаги, присутствующей в почве *in situ*, в естественных условиях.

Почвенный раствор не является абсолютно гомогенной системой, так как интенсивные (не зависящие от количества почвы) показатели его свойств меняются в макроскопическом почвенном пространстве от точки к точке. Такая пространственная неоднородность обусловлена тесной связью между почвенным раствором и поверхностью сильно диспергированных твердых частиц почвы. Почва сама по себе является гетерогенной, пористой коллоидно-капиллярной системой [19], в которой распределение ионов регулируется межфазными адсорбционными взаимодействиями, создающими градиент концентрации веществ вблизи твердой поверхности, причем сила удерживания раствора убывает с расстоянием. Таким образом, учитывая, что почвенный раствор заполняет поровое пространство, представленное полостями и каналами разного размера (и, возможно, вещественного состава), он представлен несколькими фракциями, каждая из которых удерживается в почве различными по природе и величине силами, обладает определенной спецификой состава и свойств и может быть выделен с помощью различных методов.

Что касается исследований почвенных растворов, то первые попытки были предприняты с момента становления экспериментального почвоведения и первоначально были направлены на разработку способов отделения растворов от твердой фазы почвы. Первый опыт по вытеснению почвенного раствора водой провел, видимо, Т. Шлезинг в 1886 г. Русский ученый И. Ищереков в 1907 г. опубликовал способ получения почвенного раствора путем его вытеснения спиртом. Позже были предложены метод центрифугирования, метод отжимания при высоком давлении и др. На данный момент существует большое количество методов получения жидкой фазы почв. Всё их многообразие можно подразделить на полевые и лабораторные и объединить в несколько групп:

Первая группа методов – выделение и изучение почвенных растворов при помощи водных вытяжек [20]. Это наиболее старый и распространенный метод исследования состава почвенных растворов, рекомендованный Соссюром еще в 1804г. Однако полученные таким путем вытяжки существенным образом отличаются от истинных почвенных растворов. Как было отмечено еще С.А. Захаровым, вытяжки являются искусственным приемом извлечения растворимых веществ, и состав их сильно зависит от соотношения почва:растворитель, времени взаимодействия, температуры и механического воздействия [21–23].

Вторая группа методов – выделение раствора из почвы в сравнительно неизменном виде. Методы данной группы основаны на применении положительного или отрицательного давления (отпрессовывание, центрифугирование, выделение давлением газа, вакуум-фильтрация). Однако при отжимании раствора под высоким давлением его состав отличается от естественного вследствие изменения растворимости газов и смещения равновесия в системе почвенный раствор – твердая фаза почв [22, 24]. Достаточно широкое распространение, особенно в зарубежной практике, получил метод как центрифугирование. Он позволяет достаточно быстро извлечь почвенный раствор, причем используются образцы естественной влажности без добавления воды [24]. Состав извлекаемой влаги приближен к природному, но в порах различного диаметра она может отличаться по составу и свойствам, поэтому не всегда образец будет репрезентативен [25].

Метод вакуумной фильтрации в настоящее время относится к числу широко используемых [22, 23, 26–29]. Он дает представление о составе капиллярной и рыхлосвязанной влаги и позволяет отбирать почвенный раствор в естественных условиях. Фильтры для вакуумной экстракции почвенных растворов, в отличие от почвенных лизиметров, имеют небольшие размеры и вносят сравнительно мало нарушений в гидравлический режим почв. Недостатком является захват небольшого объема почвы, поэтому в естественных условиях необходимо установить достаточное количество пробоотборников для получения репрезентативных результатов [30].

Третья группа методов – лизиметрические методы, действующие по принципу замещения почвенных растворов талыми и атмосферными водами. Лизиметрические воды характеризуют состав гравитационной влаги, свидетельствующий о способности химических элементов мигрировать в почве и ландшафте [22, 31–35].

Каждый из перечисленных методов имеет свои дополнительные особенности, преимущества и недостатки. Выбор того или иного метода зависит от целей исследования, имеющихся возможностей и средств. Необходимо усовершенствование, разработка новых методологических подходов, направленных на изучение состава жидкой фазы почвы *in situ*. Также нужно учитывать то, что различные методы позволяют получать разные фракции почвенного раствора, чем выше прикладываемое давление, тем более прочносвязанная форма влаги может быть получена.

Заключение. В форме почвенных растворов и грунтовых вод находится основная часть вод суши, уступая по своей массе только водам океана. Изучение этой важнейшей категории вод идет различными, порой не связанными друг с другом, путями в самых разных отраслях знаний: почвоведении, агрохимии, биогеохимии, физиологии растений, лимнологии, физической химии, бальнеологии, экологии и других

дисциплинах. С чисто практической точки зрения состав жидкой фазы почвы и его трансформация очень важен для индикации почвообразовательных процессов (засоление, осолонцевание и др.), для выявления условий питания сельскохозяйственных культур, а также установления степени загрязнения почв. Жидкая фаза в экологическом отношении представляет интерес как среда обитания растений и многих микроорганизмов, как связующее звено между живой и косной материями, между компонентами биоценоза. Постоянно возрастающее давление антропогенного воздействия на природные экосистемы сопровождается изменениями состава и физических свойств жидкой фазы почвы, что часто является непосредственным фактором, влияющим на живые микроорганизмы. В этом отношении почвенные растворы не только прекрасный индикатор изменения окружающей среды, но и перспективный объект для экологического нормирования антропогенного воздействия.

Преобладающее большинство всех почвенно-химических реакций осуществляется в почвенном растворе, поэтому состав почвенных растворов может быть использован для ранней диагностики процессов деградации почв под воздействием техногенного загрязнения, для почвенного мониторинга, для оценки критических нагрузок на почвы. Исследование состава почвенных растворов позволяет также оценить эффективность методов рекультивации загрязненных почв и отследить возможность негативного воздействия на сопредельные среды. Помимо выше сказанного, почвенные растворы являются непосредственным источником питания растений, но состав почвенных растворов конечно не определяет полностью процесс корневого питания. Таким образом, особое значение имеет характеристика состава почвенных вод как фазы почвы, наиболее ярко отражающей качественный и количественный состав наиболее подвижных и доступных форм элементов.

Литература

1. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
2. Тяжелые металлы в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1980. 80 с.
3. Карпухин А.И., Яшин И.М., Черников В.А. Формирование и миграция комплексов водорастворимых органических веществ с ионами тяжелых металлов в таежных ландшафтах Европейского Севера // Известия ТСХА. 1993. Вып. 2. С. 107–126.
4. Мотузова Г.В. Почвенно-химический экологический мониторинг. М.: МГУ. 2001. 85 с.
5. Cances B., Ponthieu M., Castrec-Rouelle M., Aubry E., Benedetti M. F. Metal ions speciation in a soil and its solution: experimental data and model results // Geoderma. 2003. V. 113. Issues 3–4. P. 341–355.
6. Вернадский В.И. Избранные сочинения. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 420 с.

7. Возбуждая А.Е. Химия почв. М.: Изд-во Высшая школа, 1968. 429 с.
8. Kim H. Tan. Principles of Soil Chemistry. Fourth Edition. CRC Press, 2011. 390 с.
9. Sposito C. The chemistry of soils. Second Edition. Oxford University Press, 2008. 329 p.
10. Лозе Ж., Матье К. Толковый словарь по почвоведению. Изд-во: Мир, 1998. 398 с.
11. Роде А.А. Толковый словарь по почвоведению. М.:Наука,1975. 286 с.
12. Спозито Г. Термодинамика почвенных растворов. М.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
13. Орлов Д.С. Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Выс. школа, 2005. 558 с.
14. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В. Химическое загрязнение почв и их охрана. М.: Агропромиздат, 1991. 303 с.
15. Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М.: Изд-во: РЭФИА, 1997. 312 с.
16. Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников. С. И. Почвоведение. 4 Издание. М.: Изд-во Юрайт, 2014. 527 с.
17. Снакин В.В. Анализ состава водной фазы почв. М.: Наука, 1989. 118 с.
18. Самойлова Е.М., Дёмкин В.А. О составе различных фракций почвенного раствора // Почвоведение. 1976. №11. С. 24–27.
19. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. 2003. №3. С. 328–341.
20. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
21. Захаров С.А. Почвенные растворы: роль их в почвообразовании. СПб: Изд-во С/х хим. Лаб., 1906. 91 с.
22. Малинина М.С., Мотузова Г.В. Методы получения почвенных растворов при почвенно-химическом мониторинге // Физические и химические методы исследования почв: Сб. науч. тр. М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 101–129.
23. Малинина М.С., Караванова Е.И., Беянина Л.А., Иванилова С.В. Сравнение состава водных вытяжек и почвенных растворов торфянисто-подзолистых глееватых почв Центрального лесного государственного биосферного заповедника // Почвоведение. 2007. №4. С. 428–437.
24. Комарова Н.А. Методы выделения почвенных растворов // Физико- химические методы исследования почв. М.: Наука, 1968. С. 7–31.
25. Reynolds B.A. Simple method for the extraction of soil solution by high speed centrifugation // Plant and Soil. 1984. V. 78. P. 437–440.
26. Barbee G.C., Brown K.W. Comparison between suction and free-drainage soil solution samplers // Soil Science. 1986. V.141. №2. P. 149–154.

27. Hendershot W.H., Courchesne F. Comparison of soil solution chemistry in zero-tension and ceramic cup tension lysimeters // *Journal of Soil Science*. 1991. V. 42. P. 577–583.
28. Vulkan R., Zhao F.J., Barbosa-Jefferson V. Copper Speciation and impacts on bacterial biosensors in the pore water of copper-contaminated soils // *Environmental Science Technology*. 2000. V.34. P. 5115–5121.
29. Rais D., Nowack B., Schulin R., Luster J. Sorption of trace metals by standard and micro suction cups in the absence and presence of dissolved organic carbon // *Journal of Environmental Quality*. 2006. V.35. P. 50–60.
30. Grossmann J., Udluft P. The extraction of soil water by the suction cup method: a review // *Journal of Soil Science*. 1991. V.42. P. 83–93.
31. Шилова Е.И. Метод получения почвенного раствора в природных условиях // *Почвоведение*. 1955. №11. С. 86–90.
32. Самойлова Е.М., Демкин В.А. О составе различных фракций почвенного раствора//*Почвоведение*, 1976. №11. С. 24-27.
33. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 252 с.
34. Снакин В.В., Присяжная А.А., Рухович О.В. Состав жидкой фазы почв. М.: РЭФИА, 1997. 325 с.
35. Шишов Л.Л., Кауричев И.С., Большаков В.А., Муромцев Н.А., Яшин И.М. Лизиметры в почвенных исследованиях. М.: Почвенный Институт им. В.В. Докучаева, 1998. 264 с.

Summary

Soil solution plays an important role in soil formation processes, biochemical and physical-chemical reactions of the soil, circulation and metabolism and plant nutrition. In the soil solution (or with its participation) there are processes of destruction and synthesis of organic substances, secondary minerals and organo-mineral compounds. Despite the essential role of soil solutions in the life of soils, the study related to the numerous difficulties that are caused by a number of unresolved theoretical and methodological problems. The study of the soil solution composition is important for the diagnosis of soil degradation processes, soil monitoring and for an evaluation of critical loads of soils.