

ПОРОВЫЕ РАСТВОРЫ ЗОНЫ АЭРАЦИИ ЮЖНЫХ СТЕПНЫХ РАЙОНОВ УКРАИНЫ

А. А. Сухоребрий

(Рекомендовано акад. НАН Украины В. М. Шестопаловым)

Розглядаються результати натурних досліджень порових розчинів зони аерації південних районів Степової зони України. В ґрунтах і породах зони аерації півдня розповсюджені переважно солонуваті та солоні сульфатно-натрієві порові розчини вилугування, що відповідає засоленню порід регіону. Порові розчини є основним фактором солепереносу в зоні аерації, вони приймають участь у засоленні та розсолненні порід і формуванні хімічного складу ґрунтових вод.

Ключові слова: порові розчини, зона аерації, Степова зона України.

Рассмотрены результаты натурных исследований поровых растворов зоны аэрации южных районов Степной зоны Украины. В почвах и породах зоны аэрации юга распространены преимущественно солонуватые и соленые сульфатно-натриевые поровые растворы выщелачивания, что соответствует засолению пород региона. Поровые растворы являются основным фактором солепереноса в зоне аэрации, они принимают участие в засолении и рассолении пород и формировании химического состава грунтовых вод.

Ключевые слова: поровые растворы, зона аэрации, Степная зона Украины.

Results of the poral aqueous solutions field observation in southern areas of the Steppe zone of Ukraine are considered. Saltish and salty sodium-sulfate poral solutions of leaching are prevailing in soils and rocks of the aeration zone in the Steppe South, that corresponds to natural salinization of rocks in the region. Poral solutions are the main factor of the salt transfer in the aeration zone, they take part in salinization and leaching of rocks, as in formation of the chemical composition of ground waters.

Key words: poral aqueous solutions, aeration zone, Steppe zone of Ukraine.

Южная часть Украины относится к Степной физико-климатической зоне, которая простирается от лесостепей до побережья Черного и Азовского морей. Для этого региона характерны степные равнинные ландшафты, слабо развитая гидрографическая сеть, высокая минерализация грунтовых вод, сухой климат, дефицит влаги в летний период, что отражается на современных физико-географических процессах. Флора преимущественно степная, с отдельными участками лесной, луговой и болотной растительности [10].

Зона аэрации южных районов Степной зоны сложена в основном лессовыми поро-

дами – суглинками и красно-бурыми глинами, почвы в основном черноземные, лугово-черноземные, малогумусовые, в приморской части региона – засоленные. Поровые растворы содержатся преимущественно в почвах (почвенные растворы), в глинистых и лессовых отложениях зоны аэрации (подпочвенные растворы). Именно они осуществляют влагосолеперенос, который связывает атмосферные осадки с грунтовыми водами.

Гидрофизические и гидрохимические исследования Степной зоны аэрации проводились союзными и украинскими организациями. Результаты этих работ изложены в многочисленных публикациях, посвященных закономерностям влагосолепереноса

(Н. Н. Муромцев, М. М. Зильбербранд, А. П. Швец, Ю. Г. Головченко, Н. Е. Дзекун, В. Н. Лисничий, А. Б. Ситников и др.). Эти исследования проводились на стационарных режимных участках, оборудованных специальными наблюдательными шурфами с установленными в них датчиками. Поровые растворы отбирались путем вакуумного отсоса через керамические фильтры из стенок шурфа.

В Институте геологических наук НАН Украины изучение поровых растворов покровных отложений южных районов было начато А. Е. Бабинцом в 70-х годах прошлого столетия и продолжается его учениками до настоящего времени. В отличие от вакуумного метода отбора порового раствора, нами использовался метод отпрессования жидкой фазы почв и грунтов из монолитов, отобранных при бурении и шурфовании. Такая методика, на наш взгляд, более точная, так как вакуумный способ дает усредненный в пространстве и во времени состав порового раствора, а отжатый из небольшого монолита объем характеризует поровый раствор в конкретной точке разреза на определенный период.

Методика отжатия и конструкция прессформ даны в соответствующих работах [1, 3]. Нами было проведено изучение порового раствора зоны аэрации на опорных участках, расположенных практически по всей южной части степной зоны – от Одесской области до заповедника "Хомутовская степь" у восточной границы Украины (Донецкая область), а также на территории Равнинного Крыма (Керченский полуостров). Это дало возможность проследить гидрогеологические условия зоны аэрации в различных ландшафтно-климатических зонах степного региона.

В. И. Вернадский в "Истории природных вод" [4] указывал на огромное значение поровых растворов верхних покровных слоев. В зоне аэрации он выделил два семейства вод (растворов) – почвенные и подпочвенные, которые мы рассматриваем как единую зону поровых растворов, почв и пород этой зоны. Поровые растворы – физическая вода, по классификации Е. М. Сергеева, подразделяется на прочносвязанную и слабосвязанную (рыхлосвязанную). Слабосвязанная вода играет исключительно боль-

шую роль в процессах влагосолепереноса в зоне аэрации, формирует гидрохимическую среду этой зоны и грунтовых вод нижележащих пород, влияет на засоленность почв и покровных пород. Именно в зоне аэрации начинается формирование химического состава грунтовых вод.

Формирование поровых растворов зоны аэрации (почвенных и подпочвенных вод, по В. И. Вернадскому) происходит за счет атмосферных осадков и непосредственно связано с климатическими условиями. В работе [9] была представлена широтная гидрохимическая зональность поровых растворов зоны аэрации равнинной части Украины. Степная зона по гидрохимии поровых растворов зоны аэрации выделена в отдельную провинцию, резко отличающуюся от северных Лесной и Лесостепной зон.

Климатический фактор (засушливый климат, высокое испарение, недостаточное увлажнение) обусловил высокую минерализацию поровых растворов зоны аэрации. Поровые растворы, находящиеся в условиях более интенсивного увлажнения и орошения, менее минерализованы. Нижняя часть зоны аэрации находится под влиянием грунтовых вод, что также отражается на химическом составе поровых растворов.

В. И. Вернадский рассматривал почвенные и подпочвенные поровые растворы как два самостоятельных сообщества, отмечая при этом их непосредственную взаимосвязь [4]. Формирование гидрогеохимических условий всей зоны аэрации начинается с горизонта почвенных растворов. Для них характерна особая геохимическая обстановка, обусловленная газовым составом, водой и микроорганизмами. В процессе нисходящей фильтрации почвенные растворы переходят в нижележащие породы зоны аэрации с другими геохимическими условиями. Формирование химического состава подпочвенных растворов происходит преимущественно вследствие выщелачивания и растворения солей, содержащихся в отложениях зоны аэрации. Таким образом, солевой состав подпочвенных поровых растворов зависит от засоленности пород зоны аэрации и от интенсивности вертикального водообмена. В Степной зоне верхняя часть разреза рассолена, но породы зоны аэрации в основном относятся к за-

соленным, что обусловило, как отмечалось, высокую минерализацию подпочвенных поровых растворов. Полученные нами гидрогеохимические разрезы зоны аэрации показали наличие как общих для всей южной Степной зоны характеристик поровых растворов, так и различия в их составе, связанные с ландшафтными условиями. Они дают представление о химическом составе поровых растворов в различных подзонах и провинциях южной части Степной зоны в зависимости от глубины (районирование разрезов дано по работе [10]).

1. Южностепная зона, Приморская равнинная область.

Эта западная часть Степной зоны представлена участком в районе г. Одесса. Мощность зоны на участке достигает 28–35 м, ее верхняя часть сложена четвертичными лессовидными суглинками и красно-бурыми глинами (до 25 м), нижняя – понтическими известняками. Питание грунтовых вод происходит за счет атмосферных осадков. Естественная влажность суглинков и глин, по нашим данным, составляет от 11 до 23 вес.%, увеличиваясь от кровли покровных отложений к их подошве. Относительно высокая влажность позволяет выделить поровый раствор из глинистых пород и проследить формирование его химического состава при инфильтрации атмосферной воды через зону аэрации.

На Одесском участке нами исследованы поровые растворы в интервале глубин 5–25 м. Отпрессование раствора из глинистых пород было выполнено на установке для отделения жидкой фракции, созданной в Институте геологических наук НАН Украины [3]. Рабочее давление при отжатии составляло до 10–15 МПа. Образцы глин и суглинков отбирались из шурфов и скважин.

Полученные результаты позволили составить типовой гидрогеохимический разрез зоны аэрации района Одессы с глубины 5 м до уровня грунтовых вод, который приводится ниже.

Химический состав поровых растворов зоны аэрации южностепной подзоны (район г. Одесса) (по формуле Курлова, экв.%):

Лессовидные суглинки

$$\text{Глубина 5–6 м } M_{3,1} \frac{\text{SO}_4 84 \text{ Cl } 18 \text{ HCO}_3 7}{\text{Na } 54 \text{ Mg } 34 \text{ Ca } 11},$$

$$\text{Глубина 7 м } M_{5,1} \frac{\text{Cl } 86 \text{ SO}_4 9 \text{ HCO}_3 3}{\text{Na } 54 \text{ Mg } 35 \text{ Ca } 10},$$

$$\text{Глубина 8–9 м } M_{6,5} \frac{\text{Cl } 90 \text{ SO}_4 7 \text{ HCO}_3 3}{\text{Na } 49 \text{ Mg } 39 \text{ Ca } 12},$$

$$\text{Глубина 11 м } M_{14,0} \frac{\text{Cl } 49 \text{ SO}_4 49 \text{ HCO}_3 2}{\text{Na } 46 \text{ Mg } 41 \text{ Ca } 13}.$$

Красно-бурые глины

$$\text{Глубина 17 м } M_{11,8} \frac{\text{SO}_4 50 \text{ Cl } 48 \text{ HCO}_3 2}{\text{Na } 43 \text{ Mg } 38 \text{ Ca } 19},$$

$$\text{Глубина 20 м } M_{8,1} \frac{\text{SO}_4 56 \text{ Cl } 41 \text{ HCO}_3 3}{\text{Na } 45 \text{ Mg } 35 \text{ Ca } 20},$$

$$\text{Глубина 23 м } M_{8,8} \frac{\text{Cl } 50 \text{ SO}_4 47 \text{ HCO}_3 3}{\text{Na } 44 \text{ Mg } 35 \text{ Ca } 21},$$

$$\text{Глубина 25 м } M_{8,8} \frac{\text{SO}_4 59 \text{ Cl } 39 \text{ HCO}_3 2}{\text{Na } 45 \text{ Mg } 34 \text{ Ca } 20}.$$

Минерализация грунтовых вод – 1–3 г/дм³.

Гидрогеохимический разрез зоны аэрации Одесского участка характерен для приморской части Степной зоны. Минерализация поровых растворов лессов и красно-бурых глин составляет 3–14 г/дм³, в основном поровые растворы относятся к слабосоленым водам. Химический состав поровых растворов – хлоридный, хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный натриево-магниевый. Характерно чередование в разрезе поровых растворов различного состава, что можно рассматривать как признак неоднородной вертикальной фильтрации. Преобладание ионов магния над кальцием характерно для морского типа засоления. В целом, по химическому составу поровые растворы зоны аэрации приморской равнины области аналогичны сульфатным и хлоридным грунтовым водам центральной и южной частей Степной зоны, которые выделил в отдельную гидрохимическую зону И. В. Гармонов (1948 г.).

По разрезу минерализация поровых растворов Одесского участка увеличивается с глубиной до 11 м, затем уменьшается до подошвы зоны аэрации. Вынос солей из

верхней части разреза и их накопление в растворе связано с выщелачиванием из пород зоны аэрации и подземным испарением в условиях засушливого климата. Распеснение нижней части разреза может быть обусловлено смешиванием поровых растворов с капиллярной водой водоносного горизонта неогеновых известняков, минерализация которой значительно ниже (1–3 г/дм³). Отметим, что такая минерализация грунтовых вод возможна при формировании горизонта из самостоятельной области питания, расположенной значительно севернее приморского участка. Таким образом, нисходящий поток поровых растворов зоны аэрации слабо влияет на химический состав грунтовых вод.

Аналогичный гидрогеохимический профиль зоны аэрации был получен А. Е. Бабинцом в Присивашском артезианском бассейне на прибрежных участках Черного и Азовского морей и Сиваша [1]. Сернокислые и хлоридные соли магния А.Е. Бабинец относит к морскому типу засоления.

В целом, химический состав поровых растворов засоленной зоны аэрации приморской области в районе г. Одесса характерен и для приморских степных районов других регионов.

2. Южностепная подзона, Присивашско-Приазовская область.

В этой части Степной зоны изучение поровых растворов зоны аэрации проводилось на участке с. Крестовка (Херсонская область), юго-западнее п.г.т. Аскания Нова. Основные результаты исследования, которое автор выполнил в составе лаборатории мелиоративной гидрогеологии Киевского государственного университета им. Т. Г. Шевченко, были опубликованы в "Геологическом журнале" в 1979 г. [8]. В данной работе гидрогеохимическая характеристика поровых растворов Крестовского участка дается прежде всего для сопоставления с другими районами Степной зоны.

Зона аэрации Крестовского участка сложена толщей лессовидных суглинков с прослойками супеси, ниже которой залегают красно-бурые глины. Мощность этой толщи достигает 22,5 м; основной водоносный горизонт приурочен к плиоценовым пескам (глубина уровня – 23,5 м). Изучение поровых растворов четвертичных лессовид-

ных суглинков и плиоцен-нижнечетвертичных красно-бурых глин зоны аэрации проводилось в шурфе глубиной 21,5 м, оборудованном тензиометрами для отбора порового раствора вакуумным способом. Эти тензиометры используются также для изучения влагопереноса в зоне аэрации, которое выполнял канд. геол.-минерал. наук Н. Н. Муромцев.

Крестовский участок находится на орошаемом массиве, поэтому поровые растворы зоны аэрации формируются атмосферными и поливными водами. Верхний, почвенный слой хорошо промыт (примерно до глубины 1,0–1,5 м) и лишь ниже этого горизонта начинается формирование природного гидрогеохимического профиля зоны аэрации.

Химический состав поровых растворов зоны аэрации Присивашско-Приазовской области южностепной подзоны (с. Крестовка):

Почвенный слой (чернозем)

$$\text{Глубина } 0,7 \text{ м} \quad M_{0,8} \frac{\text{SO}_4 \text{ 41 HCO}_3 \text{ 32 Cl 18 CO}_3 \text{ 7}}{\text{Na 51 Mg 34 Ca 13 K 1}}.$$

Лессовидные суглинки

$$\text{Глубина } 5,5 \text{ м} \quad M_{9,4} \frac{\text{SO}_4 \text{ 72 Cl 24 HCO}_3 \text{ 3}}{\text{Na 52 Mg 34 Ca 13}}.$$

$$\text{Глубина } 11 \text{ м} \quad M_{12,4} \frac{\text{SO}_4 \text{ 63 Cl 35 HCO}_3 \text{ 2}}{\text{Na 55 Mg 33 Ca 12}}.$$

Красно-бурые глины

$$\text{Глубина } 20,8 \text{ м} \quad M_{8,1} \frac{\text{SO}_4 \text{ 67 Cl 26 HCO}_3 \text{ 5 CO}_3 \text{ 1}}{\text{Na 56 Mg 28 Ca 16}}.$$

Грунтовые воды

$$\text{Глубина } 21,5 \text{ м} \quad M_{0,5} \frac{\text{SO}_4 \text{ 52 Cl 42 HCO}_3 \text{ 3 CO}_3 \text{ 3}}{\text{Na 76 Mg 16 Ca 6 K 2}}.$$

Как видно из приведенного разреза, поровые растворы зоны аэрации Крестовского участка (район Аскания Нова) характеризуются однородным сульфатным натриевым составом. Хлориды в поровом растворе имеют подчиненное значение, в отличие от приморской зоны (Одесский участок). Характер профиля минерализации сходен с приморским участком: увеличение минерализации с глубиной от 0,7 в почвенном слое до 12,9 г/дм³ (глубина 11,0 м), за-

тем уменьшение к подошве зоны аэрации (к поверхности грунтовых вод) до 7,8 г/дм³. Низкая минерализация верхней части разреза (почвенные растворы) – результат активного влагопереноса (прежде всего вследствие орошения). Пик минерализации приходится на интервал 10–11 м. Увеличение с глубиной минерализации порового раствора обусловлено растворением (выщелачиванием) солей из пород при нисходящей фильтрации почвенной влаги. В растворе преобладает сульфат и хлорид натрия, содержащиеся в лессовидных суглинках.

3. Северостепная подзона, Приазовская область.

Эта часть Степной зоны, расположенная в Северо-восточном Приазовье, занимает Приазовскую возвышенность и низинное побережье Азовского моря. Участок исследования находится на Приазовской низинной равнине, в заповеднике "Хомутовская степь" (долина р. Грузский Еланчик, южнее пос. Тельманово). Мощность зоны аэрации на участке достигает 20–30 м. Она сложена глинистыми суглинками ранне-позднечетвертичного возраста и красно-бурыми глинами плиоцен-четвертичного возраста. Естественная влажность глинистых пород – 14–28%.

Поровые растворы были отжаты из монолитов, отобранных в гидрогеологических скважинах, пробуренных на территории заповедника. Ниже дается один из гидрогеохимических разрезов зоны аэрации Хомутовской степи.

Химический состав поровых растворов зоны аэрации Приазовской области северостепной подзоны (Приазовская низменность):

Глинистый суглинок

$$\text{Глубина 4,0–4,2 м } M_{4,8} \frac{\text{SO}_4 70 \text{Cl} 27 \text{HCO}_3 3}{\text{Ca} 46 \text{Mg} 30 \text{Na} 24}.$$

Красно-бурые ("скифские") глины

$$\text{Глубина 15,0–15,2 м } M_{5,9} \frac{\text{SO}_4 78 \text{Cl} 15 \text{HCO}_3 7}{\text{Na} 50 \text{Ca} 29 \text{Mg} 21},$$

$$\text{Глубина 20,0–20,2 м } M_{5,8} \frac{\text{SO}_4 81 \text{Cl} 14 \text{HCO}_3 5}{\text{Na} 52 \text{Ca} 30 \text{Mg} 17},$$

$$\text{Глубина 25,0–25,2 м } M_{6,2} \frac{\text{SO}_4 72 \text{Cl} 24 \text{HCO}_3 3 \text{CO}_3 1}{\text{Na} 60 \text{Ca} 23 \text{Mg} 16 \text{Kl}},$$

$$\text{Глубина 30,0–30,2 м } M_{5,4} \frac{\text{SO}_4 82 \text{Cl} 14 \text{HCO}_3 3}{\text{Na} 54 \text{Ca} 29 \text{Mg} 16}.$$

Грунтовые воды на участке Хомутовской степи залегают в основном в неогеновых известняках. Их минерализация, по нашим данным, составляет 1,9–5,9 г/дм³, химический состав преимущественно сульфатный натриевый. Сходство состава поровых растворов и грунтовых вод свидетельствует о питании грунтового водоносного горизонта вследствие вертикальной фильтрации атмосферных осадков через толщу пород зоны аэрации, т. е. за счет поровых (подпочвенных) растворов.

Гидрогеохимический профиль зоны аэрации Хомутовской степи отличается от предыдущих, западных, участков отсутствием горизонтов соленакопления. Профиль относительно однородный, что можно объяснить интенсивной нисходящей фильтрацией атмосферных вод. Район Приазовской области имеет более благоприятные климатические условия, что отражается на водообмене зоны аэрации.

Иная гидрогеохимическая обстановка характерна для Левобережно-Днепровской северо-восточной провинции (область Приднепровской низменности). Нами были опробованы породы зоны аэрации Конкско-Ялынской впадины по отдельным скважинам на разных глубинах (бурение и отбор монолитов выполнены ПГО "Южургеология"). Строение зоны аэрации в этом районе сходно с Хомутовской степью; климатические условия также близки. Тем не менее химический состав поровых растворов зоны аэрации заметно отличается от района Хомутовской степи.

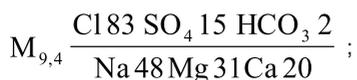
Химический состав поровых растворов зоны аэрации области Приднепровской низменности северо-степной провинции (район Конкско-Ялынской впадины):

Суглинок лессовидный

- 1) с. Ремовка Запорожской области, глубина 12,0–12,1 м

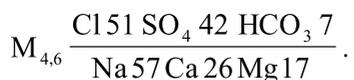
$$M_{22,7} \frac{\text{Cl} 87 \text{SO}_4 2 \text{HCO}_3 1}{\text{Na} 46 \text{Mg} 36 \text{Ca} 18};$$

2) там же, глубина 17,5–17,8 м



Глины красно-бурые

3) с. Новгород, глубина 11,0–11,2 м



Как видно из приведенных данных, в районе Конкско-Ялынской впадины распространены хлоридные натриевые поровые растворы зоны аэрации с минерализацией от 5,0 до 23,0 г/дм³. Ограниченное количество проб не позволяет сделать обобщенные выводы, однако следует отметить, что хлоридный состав характерен и для глубоких отдельных глинистых слоев артезианской системы Конкско-Ялынской впадины (глубины 151–346 м). Вполне возможно, что хлоридный состав подпочвенных поровых растворов зоны аэрации связан с вертикальным водообменом подземных и поверхностных вод (Г. С. Гринь, 1969 г.) [5].

4. Южностепная подзона, Крымская южностепная провинция, Керченская полуостровная область.

Крайняя южная часть Степной зоны, в которой проводились исследования зоны аэрации, расположена в Степном Крыму, на Керченском полуострове (побережье Арабатского залива, с. Семисотка). Работы проводились на опытно-производственном участке Научно-исследовательского сектора Киевского госуниверситета им. Т. Г. Шевченко, совместно с сотрудниками НИС КГУ, которые изучали процессы влагопереноса в зоне аэрации (руководитель работ канд. геол.-минерал. наук. Н. Е. Дзекунов). Для отбора поровых растворов были использованы гидрофизические режимные скважины и шурфы, оборудованные тензиометрами. Поровый раствор извлекался из породы вакуумированием через керамические тензиометры, расположенные в стенках шурфов и скважин по всей глубине зоны аэрации – от поверхностного почвенного слоя до уровня грунтовых вод.

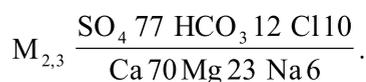
Полученные результаты на участке Семисотка дают представление о гидрогеохимии зоны аэрации в наиболее засушливых

районах Степной зоны, расположенных непосредственно у моря. Мощность зоны аэрации на участке составляет 7–8 м; разрез представлен почвенным слоем (0,5 м), ниже которого залегают средние и тяжелые лесовые суглинки четвертичного возраста. Участок находится на орошаемом поле, поэтому верхняя часть зоны аэрации до глубины 1,5–2,0 м частично промыта поливными водами.

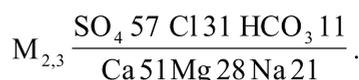
Ниже приводится химический состав поровых растворов зоны аэрации Крымской южностепной провинции (Керченская область):

Почвенный слой

Скважина, глубина 0,5 м

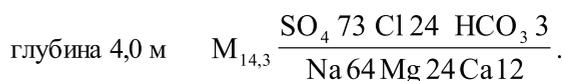
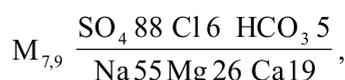


Там же, глубина 1,0 м

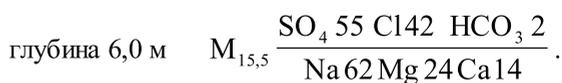


Лесовые суглинки

Там же, глубина 2,0 м



Грунтовые воды



Гидрогеохимический разрез зоны аэрации на участке Семисотка Крымской провинции сформирован под влиянием моря. Тем не менее поровые растворы зоны аэрации относятся к сульфатным, в отличие от приморского района Одессы, где преобладают хлоридные поровые растворы. Сульфатный натриевый состав поровых растворов в степной части Керченского полуострова обусловлен сульфатной засолен-

ностью пород зоны аэрации, которые содержат в большом количестве растворимые сульфатные минералы. Влияние моря сказывается в повышенном содержании хлорида натрия и магния.

Гидрогеохимический разрез на участке с. Семисотка является типичным профилем накопления, для которого характерны выщелачивание солей при нисходящей фильтрации и их вынос в нижние горизонты разреза. На приведенном выше гидрогеохимическом разрезе верхние слои (до глубины 1,0 м) имеют наиболее низкую минерализацию порового раствора (2,3 г/дм³), обусловленную поливным режимом. Ниже по разрезу прослеживаются постепенное увеличение минерализации порового раствора до 14,3 г/дм³ (глубина 4 м) и наиболее высокая концентрация солей в грунтовых водах за счет их накопления при выносе из пород зоны аэрации. На этом участке грунтовые воды не имеют самостоятельной области питания (как на других рассмотренных участках), поэтому связь химического состава грунтовых вод и поровых растворов прослеживается особенно четко.

Анализ полученных результатов позволяет сделать некоторые выводы по гидрогеохимии зоны аэрации юга Украины.

1. Поровые растворы зоны аэрации южных районов Степной зоны представлены преимущественно сульфатным натриевым типом. На отдельных участках вблизи моря в разрезе зоны аэрации встречаются хлоридные натриевые поровые растворы. По минерализации поровые растворы относятся к соленым водам (от 2,0 до 22,0 г/дм³), лишь в верхних промытых горизонтах на полях орошения распространены пресные гидрокарбонатные почвенные растворы.

2. Характер гидрогеохимических разрезов зоны аэрации южных районов Степи указывает на нисходящую миграцию солей в поровых растворах, обусловленную прежде всего нисходящей фильтрацией самого раствора (конвективный солеперенос). В процессе фильтрации происходят выщелачивание и растворение солей поровым раствором из пород зоны аэрации и их накопление в средней и нижней частях разреза. На участках с повышенной проницаемостью пород (супеси, пески) наблюдается равномерное распределение солей в поро-

вом растворе по разрезу, без горизонтов соленакопления. Прослеживается связь химического состава поровых растворов зоны аэрации с атмосферными осадками. Однако основной фактор формирования солевого состава почвенных и подпочвенных поровых растворов – засоленность пород зоны аэрации.

3. Рассматривая в целом гидрогеохимические условия зоны аэрации южных районов Степной зоны, следует отметить ее связь с физико-географическими ландшафтами. Ландшафт во многом определяет интенсивность вертикальной фильтрации поровых растворов, что, в свою очередь, влияет на их минерализацию. Поэтому в западном направлении, от равнинных приморских районов к Приазовской возвышенности, наблюдается уменьшение минерализации поровых растворов зоны аэрации при относительном сходстве химического состава (сульфатный натриевый, реже – хлоридный натриевый).

4. Влияние почвенных и подпочвенных поровых растворов зоны аэрации на грунтовые воды в южных степных районах не однозначное, оно зависит от условий питания грунтовых вод. При наличии самостоятельной области питания, расположенной севернее, грунтовые воды питаются слабоминерализованными водами, поэтому влияние соленых поровых растворов сказывается незначительно, минерализация грунтовых вод может быть гораздо меньше, чем поровых растворов (район г. Одесса, Крестовка – Аскания Нова). В этом случае зона аэрации и горизонт грунтовых вод представляют собой две самостоятельные гидрогеохимические зоны с различной минерализацией и химическим составом.

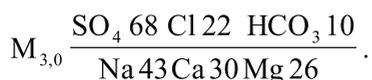
В случае, когда грунтовый водоносный горизонт питается только нисходящими атмосферными водами, происходит вынос солей поровыми растворами из пород зоны аэрации в грунтовые воды. Это приводит к формированию химического состава грунтовых вод, аналогичного составу поровых растворов с такой же или более высокой минерализацией (район Керченского полуострова). Образуется единая гидрогеохимическая зона "поровые растворы зоны аэрации – грунтовые воды", которая указывает на местное питание грунтового водо-

носного горизонта. Возможна также схема подпитывания зоны аэрации напорными артезианскими водами ниже залегающих горизонтов, имеющими свой особый химический состав, что приводит к образованию гидрохимически аномальных участков зоны аэрации (например, Конкско-Ялынская впадина).

Формирование химического состава поровых растворов южных районов Степной зоны связано с засоленностью почв и пород зоны аэрации этого физико-географического региона. Исследователи, изучающие четвертичные и дочетвертичные породы юга Украины, отмечают не только высокую степень засоленности почвогрунтов, но и преобладающий сульфатный натриевый тип водорастворимых солей.

Такой же характер химического состава имеют и грунтовые воды южных районов Степной зоны.

Современные концентрации сульфатов в грунтовых водах обусловлены, по мнению О. Г. Сурдутовича, растворением сульфатных минералов, содержащихся в лессовых породах (тенардит, мирабилит, гипс), и катионным обменом [7]. Отметим, что и в реках этого региона можно наблюдать сульфатный натриевый состав вод. Так, придонная вода р. Грузский Еланчик, по нашим данным, в районе Хомутовской степи имеет следующий состав:



Для соленых грунтовых вод региона также характерен сульфатный состав солей. В частности, по данным отдела охраны подземных вод ИГН НАН Украины (2004 г.), в районе г. Николаев, восточнее Бугского лимана, грунтовые воды четвертичных отложений при минерализации 2,5–12,5 г/дм³ имеют сульфатный натриевый состав. Относительное содержание сульфатов в этих водах составляет 49–88%-экв. В районе Хомутовской степи, как отмечалось выше, грунтовые воды также преимущественно сульфатные натриевые. Таким образом, гидрохимические условия южной части степной зоны соответствуют химическому составу поровых растворов зоны аэрации, которые взаимосвязаны с поверхностными

и грунтовыми водами. В свою очередь, поровые растворы отражают характер засоленности почв и грунтов региона.

Вопрос засоленности покровных отложений Степной зоны подробно рассмотрен в работе Г. С. Гриня "Галогенез лессовых почвогрунтов Украины" [5]. Обобщая результаты предыдущих исследователей, Г. С. Гриня выделяет такие основные источники засоления почвогрунтов: 1) соленакопление, 2) импульверизация солей, 3) биологическое соленакопление, 4) аккумуляция солей за счет поступления из нижележащих соленосных отложений и минерализованных подземных вод.

Применительно к южным степным районам можно отметить два фактора засоления зоны аэрации, на которые указывал Е. С. Бурксер с соавторами [2]: аэральный путь (поступление солей из воздуха) и выщелачивание солей с последующим солепереносом. Приведенные в работе данные подтверждают прежде всего именно эту концепцию. Химический состав поровых растворов зоны аэрации южных степных районов отражает как поступление солей воздушным путем, так и выщелачивание их из пород.

Аэральный путь засоления почвогрунтов зоны аэрации, по мнению многих исследователей, является одним из ведущих факторов, особенно для степных районов. В работе Е. А. Косовец-Скавронской [6] показано преобладающее содержание сульфатов в атмосферных осадках, характерное для территории всей Украины. Атмосферные сульфаты могут быть как природного, так и антропогенного происхождения.

Аэральное засоление зоны аэрации солями морского происхождения прослеживается локально, в приморских районах. Они формируют поровые растворы хлоридного натриевого и магниевое состава, причем хлористый и серноокислый магний относится к морским солям. В гидрогеохимических разрезах зоны аэрации такие поровые растворы могут доминировать в верхней части профиля либо формировать отдельные интервалы. В целом, повышенное содержание магния характерно для поровых растворов юга Степной зоны; в катионном составе содержание магния колеблется от 17 до 43%-экв.

Засоление пород зоны аэрации грунтовыми водами возможно лишь на участках с высоким залеганием соленых грунтовых вод. В настоящее время в ряде районов Степной зоны грунтовые воды либо пресные, либо слабоминерализованные, что приводит к рассолению нижней части зоны аэрации. К тому же в ряде районов мощность зоны аэрации достигает 20 м и более. В этом случае влияние минерализованных грунтовых вод (капиллярное поднятие, колебание уровня) захватывает лишь нижнюю часть зоны аэрации.

Что касается современного засоления пород зоны аэрации южных районов, то оно, по мнению ряда исследователей, связано с палеоклиматическими и палеогидрохимическими условиями региона. Как считает Е. С. Гринь, аккумуляция солей в почвогрунтах зоны аэрации обусловлена циклическим повышением уровня минерализованных грунтовых вод, которое, в свою очередь, было вызвано периодическим таянием ледников [5]. Грунтовые воды засоляли зону аэрации, оставляя после понижения уровня горизонты солевой аккумуляции, которые и являются основным источником выщелачивания и соленакопления в поровых растворах.

Как отмечалось выше, выщелачивание солей из пород является основным фактором формирования химического состава поровых растворов зоны аэрации. В процессе выщелачивания происходит вынос солей (рассоление) из почвогрунтов, образуется гидрогеохимический профиль зоны аэрации от почвенного слоя до уровня грунтовых вод. При достаточно большой мощности зоны аэрации и слабоминерализованных грунтовых водах такой гидрогеохимический профиль типичен для нисходящего солепереноса: верхняя часть разреза (1,0–1,5 м) образована слабоминерализованными поровыми растворами, характерными для условий интенсивного орошения; ниже, до глубины 10–12 м наблюдается увеличение солености поровых растворов вследствие выщелачивания и аккумуляции солей; в нижней части разреза до уровня грунтовых вод минерализация поровых растворов уменьшается под влиянием распреснения капиллярной водой при сезонных колебаниях уровня.

Таким образом, поровые растворы формируют гидрогеохимические условия зоны аэрации. Полученные результаты дают представление о химическом составе жидкой фазы зоны аэрации и о роли поровых растворов в процессах солепереноса в поровых отложениях. Здесь следует отметить, что миграция и аккумуляция солей в почвогрунтах зоны аэрации осуществляются водным путем, т. е., поровыми растворами. Поровые растворы участвуют как в засолении и рассолении зоны аэрации, так и в формировании химического состава грунтовых вод. Химический состав поровых растворов выщелачивания дает также представление о засоленности пород зоны аэрации, отражает климатические условия Степной зоны и отличается по химизму от северных районов, образуя самостоятельную гидрохимическую область [9].

Список литературы

1. *Бабинец А. Е., Радько Н. И.* Особенности состава поровых растворов из осадочных пород различных геоструктурных районов УССР // Влияние поровых растворов на физико-механические свойства пород: Материалы Всесоюз. конф. (Киев, 17-19 окт. 1974 г.). – Киев: Наук. думка, 1974. – С. 7–16.
2. *Бурксер Е. С., Заморий П. К., Ромоданов А. П. и др.* Геохимическая обстановка в южных районах Украинской ССР и прогноз ее возможных изменений в результате орошения. – Киев: Изд-во АН УССР, 1956. – 136 с.
3. *Водообмен* в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена / Шестопапов В. М., Ситников А. Б., Лялько В. И. – Киев: Наук. думка, 1988. – С. 154–170.
4. *Вибрані наукові праці академіка В. І. Вернадського.* Т. 6. Історія природних вод. – К., 2012. – 754 с.
5. *Гринь Г. С.* Галогенез лессовых почвогрунтов Украины. – Киев: Урожай, 1968. – 218 с.
6. *Косовець-Скавронська О. О.* Надходження хімічних речовин з атмосферними опадами на територію України та оцінка їх ролі у формуванні хімічного складу річкових вод: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. – К., 2010. – 20 с.
7. *Сурдутович О. И.* Закономерности формирования химического состава грунтовых вод

- лессовых отложений междуречий Днестр–Южный Буг – Днепр. Автореф. дис ... канд. геол.-минерал. наук. – Киев, 1971. – 22 с.
8. *Сухоробрий А. А.* К вопросу о формировании химического состава поровых растворов грунтов зоны аэрации Присивашской низменности // Геол. журн. – 1979. – Т. 39, № 4. – С. 131–137.
9. *Сухоробрий А. А.* Гидрохимическая зональность поровых растворов почв и пород зоны аэрации равнинной части Украины // Доп. НАН України. – 2004. – № 12. – С. 122–125.
10. *Фізична географія Української РСР* / О. М. Маринич, В. І. Лялько, М. І. Щербань, П. Г. Шищенко. – К.: Вища шк., 1982. – 208 с.

Ин-т геол. наук НАН Украины,
Киев
E-mail: geoj@bigmir.net

Статья поступила
11.11.13