

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРОВЫХ РАСТВОРОВ СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ СЛОЕВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.А. Сухоребрий

(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук Н.С. Огняником)

*Институт геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: geoj@bigmir.net
Доктор геологических наук, ведущий научный сотрудник.*

Предлагается новый способ оценки защищенности подземных вод по химическому составу поровых растворов слабопроницаемых слоев, залегающих между водоносными горизонтами. Проведенные исследования показали гидрохимическую неоднородность слабопроницаемых пород, которая связана с неоднородной вертикальной фильтрацией через эти породы. Микрозоны с пресными гидрокарбонатными поровыми растворами соответствуют зонам повышенной проницаемости (зоны интенсивного перетекания), а зоны с солоноватыми сульфатными поровыми растворами – зонам с пониженной проницаемостью (зоны замедленного перетекания). Соотношение этих зон позволяет оценить степень проницаемости слабопроницаемых слоев и сделать вывод о защищенности подземных вод от миграции загрязняющих веществ через эти слои. Дается оценка защищенности подземных вод северо-западного региона Днепровского артезианского бассейна на основе предлагаемого способа.

Ключевые слова: поровые растворы; химический состав; слабопроницаемые породы; защищенность подземных вод.

THE CHEMICAL COMPOSITION OF PORE SOLUTIONS IN LOW-PERMEABLE LAYERS AS AN INDICATOR OF GROUNDWATER PROTECTABILITY

A.A. Sukhorebriy

(Recommended by doctor of geological-mineralogical sciences N.S. Ognianik)

*Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, E-mail: geoj@bigmir.net
Doctor of Geological Sciences, Leading Researcher.*

A new approach for assessment of groundwater protectability according to the chemical composition of pore solutions in low-permeable layers, which occur between aquifers, is proposed. The conducted research has revealed the hydrochemical heterogeneity of low-permeable layers and its connection with vertical filtration through the rocks. The microzones with fresh hydrocarbonate pore solutions correspond to the zones of increased permeability (zones of intensive flow); the zones with salty sulfate pore solutions correspond to those with decreased permeability (zones of extensive flow). The ratio of these types of zones allows us to estimate the level of permeability for low-permeable layers and to make a conclusion about groundwater protectability from chemical pollutants moving through these layers. The results of groundwater protectability assessment by using the proposed approach for the northwestern region of the Dnieper River basin are given in this paper.

Key words: pore solutions; chemical composition; low-permeable layers; groundwater protectability.

ХІМІЧНИЙ СКЛАД ПОРОВИХ РОЗЧИНІВ СЛАБОПРОНИКНИХ ШАРІВ ЯК ПОКАЗНИК ЗАХИЩЕНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД

А.О. Сухоребрий

(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук М.С. Огняником)

*Институт геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: geoj@bigmir.net
Доктор геологічних наук, провідний науковий співробітник.*

Запропоновано новий спосіб оцінки захищеності підземних вод за хімічним складом порових розчинів слабопроникних шарів, які залягають між водоносними горизонтами. Проведені дослідження показали гідрохімічну неоднорідність слабопроникних порід, що пов'язана з неоднорідною вертикальною фільтрацією через ці породи. Мікрозони з прісними гідрокарбонатними поровими розчинами відповідають зонам підвищеної

проницности (зоны интенсивного перетекания), а зоны с солонуватыми сульфатными поровыми розчинами – зонам заниженой проницности (зоны уповільненого перетекання). Співвідношення цих зон дозволяє оцінити ступінь проницности слабопроницних шарів і зробити висновок про захищеність підземних вод від міграції забруднюючих речовин через слабопроницні шари. Надано оцінку захищеності підземних вод північно-західного регіону Дніпровського артезианського басейну на підставі запропонованого способу.

Ключові слова: порові розчини; хімічний склад; слабопроницні породи; захищеність підземних вод.

Артезианская водоносная система Днепровского бассейна в разрезе представляет собой переслаивание водоносных и слабопроницаемых глинистых слоев. Это обуславливает этажное строение артезианской системы, в которой подземные водоносные горизонты и комплексы разделяются глинистыми породами. Эти породы рассматриваются как разделяющие слои, которые защищают артезианские воды от негативных факторов.

Современные гидродинамические методы в гидрогеологии опровергают представление о водонепроницаемости отдельных слоев и доказывают существование вертикальной фильтрации и взаимосвязи подземных вод через глинистые слои. Фильтрационные модели артезианских водоносных структур основываются на принципе вертикального перетекания подземных вод. Тем самым оценка защищенности артезианских подземных вод требует определенной переоценки.

Гидрогеологическая модель северо-западной части Днепровского артезианского бассейна (ДАБ) была рассмотрена специалистами отдела гидрогеологических проблем Института геологических наук (ИГН) НАН Украины [Шестопапов и др., 1999]. Согласно этой модели зона интенсивного водообмена ДАБ состоит из пяти водоносных горизонтов (комплексов) и четырех региональных отдельных слоев мезозой-кайнозойского и кайнозойского возрастов. Эти слои образованы слабопроницаемыми глинистыми породами (глины, мергели, алевролиты), которые насыщены водой смежных водоносных горизонтов. Естественная влажность слабопроницаемых пород в пределах северо-западной части ДАБ изменяется от 19 до 59 вес.%. Зону аэрации, которая вмещает слабопроницаемые прослойки пород (суглинки, глины, алевролиты), также можно условно отнести к слабопроницаемому слою. Естественная влажность глинистых пород зоны аэрации – 10–25 вес.%.

Вода, которая содержится в слабопроницаемых глинистых породах («поровые растворы»), является неотъемлемой частью единой водонапорной системы артезианского бассейна.

Как и водоносные породы, поровые растворы слабопроницаемых слоев образуют зону полного насыщения, которая связана с гравитационными «свободными» водами гидродинамическими и гидрохимическими процессами. В фильтрационной модели артезианского бассейна эта взаимосвязь отображается в виде схемы Мятлева-Гирицкого, в которой горизонтальная фильтрация водоносных пластов объединена с вертикальной фильтрацией в слабопроницаемых отдельных слоях. Собственно, физически связанные поровые растворы глинистых слоев в артезианских бассейнах образуются за счет гравитационных подземных вод вследствие их вертикальной фильтрации через отдельные слабопроницаемые слои. Эта замедленная фильтрация поровых растворов сопровождается массопереносом природных химических соединений, которые либо поступают из смежных водоносных горизонтов, либо выщелачиваются из глинистых пород отдельного слоя. Химический состав и концентрация этих соединений в поровых растворах зависят от интенсивности вертикальной фильтрации, т.е. от взаимосвязи со смежными водоносными горизонтами. Это положение легло в основу гидрогеохимической оценки перетекания подземных вод через отдельные слабопроницаемые слои. Оно состоит в том, что по минерализации и химическому составу поровых растворов в слабопроницаемых слоях выделяют зоны интенсивной («сквозной») и замедленной («пористой») фильтрации [Шестопапов и др., 1999].

С точки зрения защищенности артезианских водоносных горизонтов наличие перетекания подземных вод через слабопроницаемые породы уменьшает защитные свойства отдельных глинистых слоев и позволяет отнести их к условно надежным. Зоны «сквозной» фильтрации в глинистых толщах можно рассматривать как зоны потенциальной миграции (массопереноса) вредных химических компонентов.

Гидрогеохимическая оценка защищенности питьевых вод артезианских горизонтов состоит в обнаружении микрозон повышенной прони-

цаемости по химическому составу поровых растворов. Принцип определения таких зон основывается на сравнительном анализе химического состава поровых растворов и гравитационных вод артезианских горизонтов. Микрозоны с минерализацией и химическим составом поровых растворов, близкими к таковым подземных вод смежных водоносных горизонтов, можно считать зонами прямого перетекания и, соответственно, путями транспортирования химических компонентов. Глинистые раздельные слои с такими микрозонами следует отнести к недостаточно надежным с точки зрения защищенности подземных вод.

Что касается зон с пористой фильтрацией, то через такие зоны также происходит перетекание подземных вод, но в значительно замедленном режиме, что немного увеличивает защитные свойства слабопроницаемых пород. Но, в отличие от зон «сквозной» фильтрации, при поровой происходит выщелачивание солей из глинистых пород. Поровые растворы таких зон имеют более высокую минерализацию по сравнению с таковой подземных вод перетекания. Поэтому такие поровые растворы могут обогащать смежные водоносные горизонты природными растворенными солями, тем самым ухудшая их свойства. Другими словами, слой глинистых пород, имеющих растворимый солевой комплекс, является источником поступления химических компонентов в подземные воды при замедленном вертикальном водообмене.

В ИГН НАН Украины (отдел гидрогеологических проблем) на протяжении многих лет ведется изучение поровых растворов слабопроницаемых пород ДАБ. Поровые растворы были выделены из керна скважин (монолиты) отпрессованием на установке для выделения жидкой фазы Н.А. Парцевского [Шестопалов и др., 1999]. Рабочее давление составляло от 5 до 15 МПа. Химический анализ порового раствора выполнен в гидрохимической лаборатории ИГН НАН Украины.

Проведенные исследования охватывали основные региональные слабопроницаемые слои зоны инфильтрационного ДАБ. К ним относятся глинистые породы кайнозоя и мезозоя: четвертичные суглинки, красно-бурые глины и суглинки плиоцена; мергели и глины среднего эоцена (киевская свита); мергельно-меловая толща верхнего мела; глины верхней и средней юры. Были определены общая минерализация и

основной химический состав поровых растворов, а также содержание некоторых специфических компонентов. Это дало возможность сделать сравнительный гидрогеохимический анализ поровых растворов и подземных вод. Был изучен характер перетекания (взаимосвязи) подземных вод через слабопроницаемые слои для оценки защищенности артезианских водоносных горизонтов северо-западной части ДАБ. Ниже приведена схема слабопроницаемых слоев ДАБ согласно объяснительной записке [Масенко, Вехова, Земская, 1986].

1. Зона аэрации. Породы зоны аэрации северо-западной части ДАБ представлены в основном песчаными и суглинистыми отложениями с линзами красно-бурых суглинков и глин. Они перекрывают первый от поверхности водоносный горизонт грунтовых вод четвертичных отложений. Через зону аэрации происходит питание грунтовых вод вследствие вертикального инфильтрационного перетекания атмосферных осадков. Защитные свойства зоны аэрации низкие, она практически не защищает грунтовые воды от поверхностного загрязнения. Кроме того, при нисходящей фильтрации происходит вынос солей из суглинистых пород зоны аэрации. Эти соли вместе с поровыми растворами попадают в грунтовые воды, что также ухудшает их питьевое качество.

Проведенные нами исследования поровых растворов зоны аэрации показали, что для северо-западной части ДАБ характерна высокая проницаемость суглинистых грунтов зоны аэрации, т.е. соответствует интенсивная нисходящая фильтрация. Так, в районе г. Киев (Феофания) поровые растворы четвертичных суглинков имеют минерализацию 0,57 г/дм³ (гл. 12,5 м); вблизи п.г.т. Лютеж – 0,19 г/дм³ (гл. 1,0 м); около г. Фастов для поровых растворов красно-бурых и желто-серых суглинков характерна минерализация 0,36 г/дм³ (гл. 3,0-8,5 м); в районе г. Канев в аллювиальных глинах минерализация поровых растворов равна 0,43 г/дм³ (гл. 15,3 м). Пресные поровые растворы принадлежат к гидрокарбонатному и сульфатному классам, что отвечает химическому составу грунтовых вод. Это свидетельствует о прямой связи поровых растворов зоны аэрации с грунтовыми водами и их влиянии на формирование солевого состава грунтового водоносного горизонта.

Среди проницаемых песчаных и суглинистых грунтов зоны аэрации в северо-западной

части ДАБ распространены менее водопроницаемые прослои глинисто-суглинистых пород. Они имеют более высокую минерализацию поровых растворов, что связано с повышенной засоленностью указанных пород. Это характерно для прослоев и линз красно-бурых и пестрых глин неогена с низкими фильтрационными свойствами. Так, в районе Теофании поровый раствор красно-бурых глин имеет минерализацию 1,1 г/дм³ (гл. 23,4м); в центре Киева поровый раствор пестрых глин (гл. 4,0 м) характеризуется минерализацией 3,36 г/дм³. Это свидетельствует о замедленной фильтрации в этих породах, которые могут рассматриваться как локальные защитные барьеры в зоне аэрации.

В прослоях с замедленной фильтрацией могут накапливаться поровые растворы техногенного происхождения. Например, в г. Фастов (железнодорожный вокзал) на гл. 6,5-7,0 м в лесовых суглинках обнаружен поровый раствор (минерализация 1,7 г/дм³) нитратно-хлоридного кальциевого состава (нитраты составляют 28% экв. анионов).

Техногенная миграция в поровых растворах зоны аэрации хорошо прослеживается в районах загрязнения нефтепродуктами. Так, в районе г. Узин загрязнителем является авиационный керосин, который инфильтруется в породы зоны аэрации в виде водно-керосиновой смеси (поровый раствор – керосин). Водный поровый раствор и керосин образуют две самостоятельные составляющие этой смеси. По нашим данным в отжатых из грунтов зоны аэрации поровых растворах содержится от 0,1 до 27,3 г/дм³ керосина, причем керосин прослеживается по всей глубине зоны аэрации. В целом, химический состав поровых растворов зоны аэрации подтверждает, что слагающие ее породы (пески, суглинки, лессы, глины) не являются защитным барьером для грунтовых вод. Более того, поровые растворы могут выщелачивать вредные соединения азота, железа, тяжелых металлов, карбонатов и транспортировать их в грунтовый водоносный горизонт, тем самым делая его особенно уязвимым.

Для защитных свойств зоны аэрации большую роль играет почвенно-растительный поверхностный слой, который благодаря гумусу имеет высокие сорбционные свойства. Вследствие сорбции почвенный слой способен задерживать вредные вещества в качестве поверхностного защитного барьера. Лишь небольшая часть этих веществ переходит в грунтовый рас-

твор (жидкая фаза почвы) и инфильтруется вниз с потоком поровых растворов до уровня грунтовых вод.

Примером растительно-почвенной сорбции может быть природная система «поровый раствор – порода» в пределах Чернобыльской зоны отчуждения. Нами было исследовано содержание цезия-137 в почве и в выделенном из нее почвенном поровом растворе. Содержание цезия-137 в почвенном растворе изменяется от 9 до 100 Бк/дм³, что составляет доли процента – первые проценты его объемного содержания в твердой фазе. Эти исследования подтверждают защитную роль почвенно-растительного слоя и в то же время свидетельствуют о переходе части радионуклидов в поровый раствор и дальнейшей их миграции в грунтовые воды.

Почвенные гумусовые отложения поверхностного слоя зоны аэрации способны накапливать также и другие вредные вещества техногенного происхождения в больших промышленных городах. Выполненные нами исследования на территории г. Киев показали наличие техногенных компонентов как в почвах, так и в почвенном растворе. Атомно-абсорбционный анализ микрокомпонентов выполнен в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семенико в отделе чл.-кор. НАН Украины Р.Я. Белевцева, аналитик С.В. Кузенко. В траве, почве и почвенном растворе в пределах города были выявлены следующие тяжелые элементы (мк/кг):

- Почва: Mn – 150–580; Fe – 100–12500; Pb – 17–60; Cu – 15–75; Zn – 82–250; Sr – 31–42; Cr – 5–22; Al – 115.

- Трава: Mn – 17,5–40; Fe – 200–920; Pb – <2–16; Cu – 10–40; Zn – 43–80; Sr – 6–25; Cd – 1.13–6; Al – 115.

- Почвенный (поровый) раствор (мг/дм³): Mn – 0,016–1,2; Fe – 0,06–0,17; Pb – 0,05–0,1; Cu – 0,001–0,15; Zn – 0,09–0,65; Sr – 0,35–1,0; Cr – 0,06; Co – 0,005.

Учитывая, что природная влажность исследуемых почв составляет преимущественно 16,9–39,3 вес.%, можно считать, что абсолютное количество тяжелых металлов, как природных, так и техногенных, накапливается в почве, которая играет роль первого защитного слоя. В почвенный раствор и грунтовые воды переходит незначительная часть тяжелых металлов, которая, кроме свинца, не превышает гранично допустимых норм. Уровень свинца в 1,5–3 раза превышает предельно допустимые концентрации (ПДК), его

можно отнести к техногенным элементам, связанным с выбросами автотранспорта.

Особую роль в уязвимости грунтовых вод играют лугово-торфяные почвы и торфяники зоны аэрации. Высокая естественная влажность этих почв обуславливает высокую водопроницаемость и нисходящую фильтрацию в грунтовые воды. Гумусовый состав торфяников дает высокую концентрацию нитратов в почвенном растворе, тем самым создавая угрозу загрязнения грунтовых вод. Так, в районе г. Ирпень в пойме реки при естественной влажности 48,7–95,5 вес.% минерализация порового раствора составляет 0,3–0,8 г/дм³, что характерно для промытых грунтов с высокой нисходящей фильтрацией. В этих слабоминерализованных поровых растворах торфяных почв содержание нитратов достигает 90–280 мг/дм³, что делает грунтовые воды уязвимыми для нитратного загрязнения.

Таким образом, гидрохимическая характеристика зоны аэрации свидетельствует о защищенности грунтового водоносного горизонта от нисходящего переноса вредных веществ. Основную защитную роль играет почвенно-растительный поверхностный слой, частично послой и линзы глинистых пород в зоне аэрации.

2. Мергельно-глинистые отложения киевской свиты среднего эоцена (P₂kv). Мергельно-глинистая толща среднего эоцена (киевская свита) образует первый региональный слабопроницаемый слой, который разделяет грунтовые водоносные горизонты и артезианские напорные воды. Поровые растворы мергелей и глини киевской свиты исследованы нами по разрезам гидрогеологических скважин на территории Киевской и Черниговской областей и по тоннелю Киевского метрополитена. Поровый раствор выделен из специально отобранных монолитов, которые были переданы трестами «Севукргеология» и «Метрострой».

Гидрохимическая характеристика киевской свиты позволяет оценить степень проницаемости мергельно-глинистых пород и защищенность бучакско-киевского водоносного комплекса, который эта свита перекрывает, образуя верхний слабопроницаемый слой.

Химический состав поровых растворов мергельно-глинистой киевской свиты среднего эоцена, в сравнении с химическим составом смежных водоносных горизонтов, свидетельствует, что в толще слабопроницаемой киевской

свиты есть микроинтервалы, которые по химическому составу поровых растворов совпадают с таковыми подземных вод, а также интервалы, в которых поровые растворы заметно отличаются от подземных вод. Ниже представлены результаты гидрогеохимических исследований слабопроницаемых пород киевской свиты на отдельных участках северо-западной части ДАБ (по разрезам 12 скважин).

Район г. Чернобыль. Мергель светло-серый. Интервал опробования – 29–43,7 м (11 проб). Естественная влажность породы – 13,45–31,5 вес.%. Минерализация порового раствора – 3,32–5,14 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район п.г.т. Неданчичи Черниговской области. Алеврит глинистый серо-зеленый. Интервал опробования – 56–70,0 м (две пробы). Естественная влажность породы – 32,2–29,1 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,69–0,77 г/дм³. Химический состав сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый (SO₄–HCO₃–Ca).

Район с. Малейки Черниговской области. Алеврит глинистый серо-зеленый. Интервал опробования – 69,3–76,0 м (две пробы). Естественная влажность породы – 26,1–27,5 вес.%. Минерализация порового раствора – 1,0–2,07 г/дм³. Химический состав гидрокарбонатный кальциевый (HCO₃–Ca).

Район п.г.т. Дымер Киевской области. Мергель зелено-серый. Интервал опробования – 24,8–31,4 м (пять проб). Естественная влажность породы – 18,8–34,9 вес.%. Минерализация порового раствора – 1,02–4,87 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый, гидрокарбонатный кальциевый (SO₄–Ca); (HCO₃–Ca).

Район с. Слобода Киевской области. Мергель зелено-серый. Интервал опробования – 27,0–34,0 м (три пробы). Естественная влажность породы – 27,1–34,0 вес.%. Минерализация порового раствора – 1,08–4,81 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район г. Киев (Теремки). Мергель серо-зеленый. Интервал опробования – 67,0–77,0 м (три пробы). Естественная влажность породы – 24,2–27,9 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,71–1,16 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район г. Киев (Бортнички). Мергель серо-зеленый. Интервал опробования – 32,0–72,10 м (две пробы). Естественная влажность породы – 20,2–22,3 вес.%. Минерализация порового

раствора – 0,64–1,48 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район г. Киев (Сырец). Мергель серо-зеленый. Интервал опробования – 32,0–72,10 м (две пробы). Естественная влажность породы – 20,2–22,3 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,64–1,48 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район г. Кагарлык Киевской области. Мергель светло-зеленый. Интервал опробования – 49,0–69,0 м (четыре пробы). Естественная влажность породы – 25,1–32,3 вес.%. Минерализация порового раствора – 1,37–3,58 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район г. Фастов Киевской области. Мергель зеленовато-серый. Интервал опробования – 28,0–35,0 м (три пробы). Естественная влажность породы – 23,2–36,9 вес.%. Минерализация порового раствора – 2,21–3,43 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Район г. Канев Черкасской области. Алеврит глинистый серо-зеленый. Интервал опробования – 69,1–75,1 м (две пробы). Естественная влажность породы – 24,1–28,0 вес.%. Минерализация порового раствора – 1,77–3,81 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Полученные гидрогеохимические разрезы слабопроницаемой толщи эоцена по скважинам позволяют оценить защитные свойства мергельно-глинистого раздельного слоя киевской свиты. По минерализации поровые растворы этой свиты можно разделить на две группы: с минерализацией до 1 г/дм³ и с минерализацией более 1 г/дм³. Так, пресные поровые растворы (до 1 г/дм³) близки к пресным подземным водам смежных водоносных горизонтов (родственны им). В данном случае это напорные воды бучакского водоносного комплекса, которые перетекают через мергельно-глинистую толщу среднего эоцена. Поэтому пресные интервалы в породах киевской свиты можно рассматривать как зоны сквозной фильтрации и, соответственно, как зоны повышенной проницаемости.

Для другой группы поровых растворов киевской свиты (слабосоленоватые с минерализацией более 1 г/дм³) характерны условия замедленной поровой фильтрации через мергельно-глинистые породы, которые обуславливают меньшую промытость пород и более интенсивное выщелачивание солей из породы, что приводит к увеличению минерализации порового

раствора. Такие зоны можно рассматривать как зоны замедленного перетекания, т.е. как слабопроницаемые зоны.

Анализируя гидрогеохимический материал по мергельно-глинистой толще киевской свиты, можно утверждать следующее:

- поровые растворы мергельно-глинистых пород киевской свиты среднего эоцена относятся к инфильтрационным пресным и слабосоленым сульфатным кальциевым водам, которые образовались в процессе инфильтрационного обмена в артезианской системе ДАБ на стадии ее континентального развития. Таким образом, генезис поровых растворов не позволяет рассматривать киевскую толщу как водоупорную, которая полностью защищает артезианские водоносные горизонты.

- на основе полученных гидрогеохимических разрезов можно заключить, что мергельно-глинистая толща киевской свиты не является однородной проницаемой, а состоит из прослоев разной проницаемости. Это прослеживается как в разрезе, так и по площади. По гидрогеохимическим показателям из приведенных выше разрезов к однородной слабопроницаемой зоне можно отнести районы Чернобыля, Слободы, Кагарлыка, Канева, Фастова. На этих участках минерализация поровых растворов киевских мергельно-глинистых пород превышает 1 г/дм³, что свидетельствует о замедленной фильтрации.

В районах Дымера и Киева среди слабопроницаемых пород киевской свиты встречаются прослои с повышенной проницаемостью (минерализация порового раствора менее 1 г/дм³, т.е. близка к таковым подземных вод бучака). В Киеве микрзоны повышенной проницаемости преобладают над слабопроницаемыми прослоями в районах Теремки и Сырец.

В районах Сырец и Бабий яр гидрогеохимия мергельно-глинистой толщи киевской свиты была изучена по линии тоннеля метрополитена между станциями Лукьяновка и Дорогожичи. Длина тоннеля, в котором были отобраны и исследованы монолиты, составляет 1200 м. Между пикетами было отобрано от одной до восьми проб с интервалом 1–46 м; общее количество проб на этом отрезке тоннеля составило 52 монолита.

Химический анализ поровых растворов из отобранных монолитов дал возможность проследить изменение их минерализации не по вертикальному разрезу киевской свиты (как в

скважинах), а по горизонтальному простиранию мергельно-глинистой толщи (т.е. по пласту). Глубина залегания тоннеля от поверхности земли на этом отрезке составляет от 30 до 80–90 м в зависимости от рельефа. Практически по всей длине пласта на этом отрезке тоннеля поровые растворы киевской свиты имеют минерализацию менее 1 г/дм³ – от 0,18 до 0,95 г/дм³, преимущественно 0,5 г/дм³. Лишь в единичных пробах (шесть проб) минерализация составляет 1,02–1,26 г/дм³. Химический состав поровых растворов сульфатный кальциевый. По данным скважины, расположенной вблизи линии метрополитена в этом районе, в интервале глубин от 65 до 90 м минерализация порового раствора колеблется от 0,64 до 1,48 г/дм³ (на глубине тоннеля – 0,64–1,021 г/дм³). Таким образом, в районе Сырецкого и Бабьего яров мергельно-глинистая толща киевской свиты эоцена отличается повышенной проницаемостью как по простиранию, так и в разрезе (рис. 1, 2). Это определяет интенсивное перетекание через слабопроницаемую киевскую толщу напорных вод бучакского водоносного комплекса и грунтовых вод полтавских и четвертичных отложений. В этом районе уязвимость артезианских вод наиболее высокая.

В пределах основной северо-западной части ДАБ мергельно-глинистые породы киевской свиты можно считать породами слабой пористой проницаемости. Это наблюдается и на прилегающих территориях Полтавской и Черкасской областей, где минерализация поровых растворов киевской свиты (более 1 г/дм³) свидетельствует о затрудненной поровой фильтрации через мергельно-глинистые породы киевской свиты среднего эоцена. Таким образом, киевская свита в целом образует слабопроницаемый слой с отдельными участками и прослоями повышенной проницаемости, а подземные воды, залегающие ниже, можно отнести к частично защищенным с отдельными уязвимыми участками.

3. Мергельно-меловая толща верхнего мела (К₂). Верхнемеловая толща мергелей и мела образует второй региональный слой слабопроницаемых пород, разделяющий подземные воды в палеогеновых и меловых отложениях. В отличие от раздельной толщи палеогена мергельно-меловая толща имеет более высокую проницаемость, прежде всего благодаря трещиноватости слабопроницаемых пород, которая распространена по всей толще. Это отразилось на гидрохимических особенностях мергельно-меловых слабопроницаемых пород.

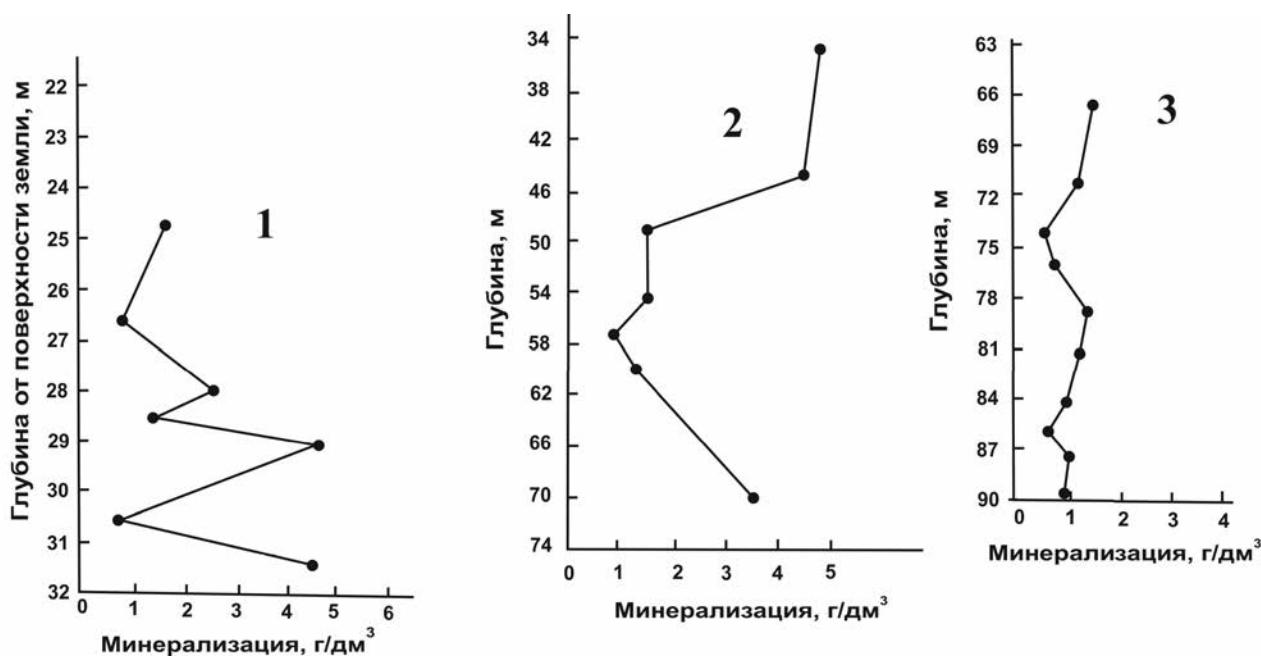


Рис. 1. Графики минерализации поровых растворов мергельно-глинистой толщи киевской свиты эоцена по разрезу слабопроницаемых пород:

1 – район г. Дымер; 2 – район г. Кагарлык; 3 – район г. Киев (Сырец)

Fig. 1. Graphs of mineralization of pore solutions in marly-clay rocks of Kiev Eocene suite, profiles of low-permeable layers in:

1 – Dymmer region; 2 – Kagarlyk region; 3 – Kiev region (Syrets)

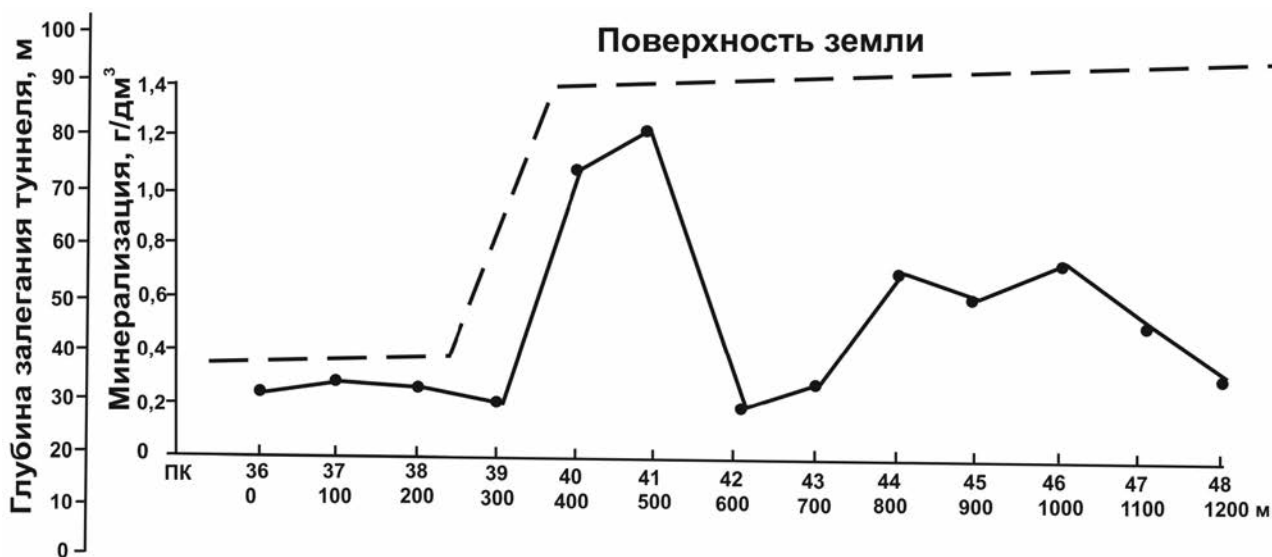


Рис. 2. Графики минерализации поровых растворов мергельно-глинистых пород киевской свиты эоцена вдоль линии туннеля метрополитена по пласту слабопроницаемых пород на участке Сырец – Дорогожичи (ПК – пикет)

Fig. 2. Graphs of mineralization of pore solutions in marly-clay rocks of Kiev Eocene suite along the underground railway tunnel, within low-permeable layers in Syrets – Dorogozhychy section (ПК – picket)

Гидрогеохимическое изучение поровых растворов слабопроницаемой верхнемеловой толщи было проведено в пределах Киевской, Черниговской и Черкасской областей северо-западной части ДАБ по разрезам шести скважин.

Район п.г.т. Малейка Черниговской области. Мергельно-меловая толща. Интервал опробования – 153,0–162,0 м (две пробы). Естественная влажность породы – 21–30 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,4–1,04 г/дм³. Химический состав гидрокарбонатный кальциево-магниевый ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$).

Район п.г.т. Неданчичи (вблизи г. Славутич), Черниговская область. Мергельно-меловая толща. Интервал опробования – 155,0–180,0 м (три пробы). Естественная влажность породы – 25,2–34,5 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,93–1,45 г/дм³. Химический состав гидрокарбонатно-хлоридный натриево-кальциевый ($\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Ca}$).

Район г. Бровары Киевской области. Мергель светло-серый. Интервал опробования – 140,0–255,0 м (четыре пробы). Естественная влажность породы – 12,3–35,7 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,66–0,88 г/дм³. Химический состав сульфатно-хлоридный, сульфатный, гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый, магниевый-кальциевый ($\text{SO}_4\text{-Cl, SO}_4, \text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg, Mg-Ca}$).

Район г. Киев (Бортнички). Мергель мелоподобный. Интервал опробования – 72,0–80,0 м

(семь проб). Естественная влажность породы – 19,5–49,5 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,54–67 г/дм³ (до гл. 77 м, на гл. 80 м – 4,04 г/дм³). Химический состав гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый магниевый, магниевый-кальциевый ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$, на гл. 80 м – сульфатный кальциевый – $\text{SO}_4\text{-Ca}$).

Район г. Канев (п.г.т. Степанцы) Черкасской области. Мергельно-меловая толща. Интервал опробования – 86,1–92,9 м (четыре пробы). Естественная влажность породы – 22,2–55,1 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,64–1,79 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый ($\text{SO}_4\text{-Ca}$).

Гидрогеохимическая характеристика поровых растворов мергельно-меловой толщи (K_2 t-km) показывает, что отдельный слой верхнего мела является более проницаемым, чем мергельно-глинистая толща эоцена. Это связано, как уже говорилось, с региональной трещиноватостью мергельно-меловых пород верхнего мела. Минерализация поровых растворов этих пород на всех исследуемых участках северо-западной части ДАБ практически не превышает 1 г/дм³, за исключением отдельных (трех) интервалов. Причем эта повышенная минерализация совпадает с наименьшим значением естественной влажности породы, что обусловлено, на наш взгляд, замедленной фильтрацией. Низкая минерализация поровых растворов верхнемеловых пород свидетельствует о достаточно интенсивном

перетекании через эту толщу напорных вод из нижних водоносных горизонтов, главным образом из нижнемелового. Этот вывод подтверждается гидрогеологическими исследованиями поровых растворов мергельно-меловых отложений верхнего мела в северо-восточной части ДАБ. Здесь в районе г. Сумы, по нашим данным, в зоне водообмена (гл. 23,0–40,0 м) минерализация поровых растворов верхнемеловых пород составляет 0,53–1,12 г/дм³, т.е. аналогична минерализации порового раствора на больших глубинах (140–280,0 м) в северо-западной части ДАБ.

Схема вертикального водообмена через верхнемеловую толщу подтверждается гидрогеохимическими исследованиями в районе г. Харьков (северо-восточная часть ДАБ). Здесь химический состав поровых растворов мергельно-меловых пород проанализирован нами в интервале глубин от 150,5 до 620,0 м (монолиты породы были предоставлены предприятием ПФ «Галс г. Харьков»). По нашим данным на этих глубинах минерализация поровых растворов мергельно-меловой толщи составляет 0,76–1,36 г/дм³ (преобладают пробы с минерализацией менее 1 г/дм³). Таким образом, можно считать, что во всей северной части ДАБ мергельно-меловая толща верхнего мела является частью системы интенсивного инфильтрационного водообмена и относится к проницаемым породам.

Исходя из полученных гидрохимических данных, верхнемеловые породы можно рассматривать как условно слабопроницаемый отдельный слой, а нижезалегающие подземные воды – как слабозащищенные.

4. Глинистая толща верхней и средней юры (J₂₋₃). Юрские глинистые породы образуют слабопроницаемый отдельный слой между нижнемеловыми и среднеюрскими водоносными комплексами. Как и в верхнемеловой толще, в юрских глинах простираются тектонические трещины, но в целом трещиноватость юрской глинистой толщи значительно меньше, чем таковая меловой.

Гидрогеохимические исследования поровых растворов юрской глинистой толщи в Киевской и Черкасской областях северо-западной части ДАБ были проведены по разрезам трех скважин.

Район г. Бровары Киевской области. Глина серая (J_{3cl}, J_{2bt}) и темно-серая (J_{2bt}). Интервал опробования – 214,0–316,0 м (девять проб). Естественная влажность пород – 19,5–27,9 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,74–1,36 г/дм³.

Химический состав сульфатный и сульфатно-хлоридный натриевый (SO₄–Na, SO₄–Cl–Na).

Район г. Канев Черкасской области. Глина темно-серая и серая (J_{3cl}, J_{2bt}). Интервал опробования – 65,0–81,0 м (две пробы). Естественная влажность пород – 14,0–34,1 вес.%. Минерализация порового раствора – 4,26–4,67 г/дм³. Химический состав сульфатный магниевый (SO₄–Mg).

Район п.г.т. Степанцы Черкасской области. Глина темно-серая (J₂). Интервал опробования – 90,0–130,0 м (шесть проб). Естественная влажность пород – 20,9–26,2 вес.%. Минерализация порового раствора – 0,78–1,78 г/дм³. Химический состав сульфатный кальциевый (SO₄–Ca).

Результаты гидрогеохимических исследований юрских глин показывают, что их поровые растворы по минерализации близки к таковым подземных вод смежных водоносных горизонтов. Минерализация юрских поровых растворов составляет около 1 г/дм³, за исключением района г. Канев. Незначительное повышение содержания солей в поровых растворах связано с сульфатом кальция, который доминирует в солевом комплексе юрских глин. В целом, исходя из полученных гидрохимических данных, толщу верхне-среднеюрских глин северо-западной части ДАБ в пределах Киевской и Черкасской областей можно считать относительно проницаемой и отнести к слабозащитным. Среди этих пород встречаются участки с меньшей проницаемостью (например, в районе г. Канев), которые имеют более высокие защитные свойства.

Выводы

Результаты гидрогеохимических исследований региональных слабопроницаемых пород ДАБ в его северо-западной части позволяют утверждать следующее.

1. Поровые растворы слабопроницаемых толщ верхнего гидрогеологического этажа ДАБ (зона интенсивного водообмена) относятся к инфильтрационным подземным водам, которые сформировались на континентальном инфильтрационном этапе развития артезианской структуры. Они образовались в результате замещения (вытеснения) седиментогенных иловых растворов морских водоемов пресными инфильтрационными водами. Это доказывает проницаемость глинистых отдельных слоев, которая сохраняется и в современных условиях.

2. Распределение минерализации поровых растворов слабопроницаемых слоев как по

площади, так и в разрезе показывает наличие в этих толщах участков и зон различной проницаемости. По слабопроницаемым зонам происходит замедленная поровая фильтрация; в зонах повышенной проницаемости (в основном это зоны микротрещиноватости) прослеживается «сквозная» интенсивная фильтрация, которая и определяет основное перетекание между водоносными комплексами через отдельные глинистые слои. В таких зонах химический состав поровых растворов близок к химическому составу подземных вод, что свидетельствует о высокой проницаемости и промытости зон микротрещиноватости.

3. На основе гидрохимических показателей основные мергельно-глинистые отдельные толщи кайнозоя и мезозоя северо-западной части ДАБ можно отнести по проницаемости к неоднородно слабопроницаемым и достаточно проницаемым. Наиболее проницаемой можно считать мергельно-меловую толщу верхнего мела. Мергельно-глинистая толща эоцена (киевская свита) преимущественно слабопроницаемая с отдельными участками повышенной проницаемости. Повышенную проницаемость имеет и глинистая толща юрских отложений из-за микротрещиноватости и песчаных прослоев.

4. С точки зрения защищенности артезианских водоносных комплексов их можно отнести к условно защищенным. Защитные свойства отдельных глинистых слоев связаны прежде всего с низкими фильтрационными свойствами глин и гидродинамическими условиями Днепровской артезианской системы. Это обусловлено тем, что очаги загрязненности подземных вод расположены на поверхности земли и их попадание в водоносные горизонты возможно только путем нисходящей фильтрации. Поэтому наиболее уязвимыми являются грунтовые воды, поскольку зона аэрации состоит в основном из песчаных и суглинистых пород, а глинистые линзы и прослои, как свидетельствуют гидрохимические показатели, также проницаемы для инфильтрационных вод. Что касается артезианских вод кайнозойских и мезозойских комплексов, то они защищены природным градиентом перетекания (восходящая фильтрация снизу вверх). Это направление нивелирует нисходящую фильтрацию грунтовых вод в зонах их разгрузки, тем самым защищая от поверхностного загрязнения. Наиболее уязвимым является первый артезианский водоносный комплекс бучак-

ских отложений на участках, где его напор ниже уровня грунтовых вод, т.е. на водоразделах и в зонах эксплуатации напорных вод. Но нисходящая безнапорная фильтрация через глинистые породы затруднена, поэтому на таких участках загрязнение артезианских вод возможно лишь по зонам трещиноватости. Следовательно, напорный градиент является одним из главных фильтров вертикального перетекания в артезианской системе и, соответственно, защитным фактором подземных вод в случае его восходящего направления.

5. Наиболее проницаемые глинистые отдельные слои наблюдаются на территории Киевского мегаполиса. Вертикальный гидрохимический разрез инфильтрационной зоны ДАБ в районе г. Киев, построенный по данным наших исследований как система «подземные воды – поровые растворы», показывает высокую проницаемость глинистых отдельных слоев. Минерализация артезианских водоносных комплексов и поровых растворов в основном близка по величине и составляет 0,1–1,5 г/дм³.

Артезианская слоистая система в этом районе хорошо промыта, что говорит об интенсивном вертикальном водообмене, охватывающем водоносные комплексы от артезианских нижнеюрских отложений до грунтовых вод. В условиях высокой проницаемости отдельных слабопроницаемых слоев защищенность подземных вод артезианских водоносных горизонтов зависит от гидродинамической обстановки. В природных условиях они защищены напорным градиентом. При эксплуатации подземных вод направление градиента может измениться и тем самым изменится и направление вертикального переноса, что может ухудшить экологическую обстановку.

Подытоживая полученные результаты гидрогеохимических исследований глинистых пород, основные отдельные слои северо-западной части ДАБ в границах гидрогеологического этажа можно считать в различной степени проницаемыми, а подземные артезианские воды – условно защищенными при сохранении существующего гидродинамического режима. Слоистая водоносная система верхнего гидрогеологического этажа этого региона является единой водонапорной системой, связанной вертикальным восходящим перетеканием напорных вод через слабопроницаемые слои. В таких гидродинамических условиях загрязнение артезиан-

ских водоносных комплексов поверхностными загрязняющими веществами возможно лишь до первого артезианского водоносного комплекса (включая горизонт грунтовых вод). Уязвимость напорных водоносных горизонтов ДАБ со стороны поровых растворов глинистых пород может возникнуть при эксплуатации подземных вод большими водозаборами. Как показали исследования работы таких водозаборов [Шестопалов и др., 1999], в первый период эксплуатации большую часть водозаборной воды составляют поровые растворы, которые залегают в подошве и кровле водоносного комплекса. Это может ухудшить качество питьевой воды, поскольку поровые растворы могут быть

более минерализованными, чем подземные воды, и содержать вредные компоненты (железо, аммоний и др.). Для района г. Киев впервые на это обратил внимание А.Е. Бабинец, анализируя изменение химического состава подземных вод нижнемелового комплекса [Бабинец, 1961]. Более детально этот вопрос рассмотрен в работе Е.А. Яковлева [Яковлев, 2011].

Исходя из приведенного, при разведке месторождений подземных вод рекомендуется включить в гидрогеологические работы изучение поровых растворов слабопроницаемых отдельных слоев. При утверждении запасов подземных вод следует учитывать их возможное влияние на качество воды в процессе эксплуатации.

Список литературы

Бабинец А.Е. Подземные воды Юго-Запада Русской платформы. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. 378 с.

Масенко И.А., Верховя Е.В., Земская С.А. Карта защищенности подземных вод Украинской ССР. М-б 1:200 000. Киевская область. Объяснительная записка. Киев, 1986. 56 с.

Шестопалов В.М., Дробноход Н.И., Лялько В.И., Огняник Н.С., Ситников А.Б., Сухоробрий А.А., Боровский Б.В., Бут Ю.С., Митник М.М., Брикс А.Л.,

Гавловский С.А., Лютий Г.Г., Морозов В.И., Головченко Ю.Г., Баер Р.А., Жук С.Г., Кубко Ю.И., Мандрык Б.И. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в естественных условиях. Киев: Наук. думка, 1989. 288 с.

Яковлев Е.О. Оцінка впливу порових розчинів регіональних слабопроникливих шарів на формування якості ресурсів питних підземних вод. *Мінер. ресурси України*. 2011. № 1. С. 37-39.

References

Babinets A.E., 1961. Ground waters of the Russian Platform South-West. Kiev: Izdatelstvo AN USSR, 378 p. (in Russian).

Masenko I.A., Verkhova E.V., Zemskaya S.A., 1986. Groundwater protectability in the Ukrainian SSR. Map 1:200 000, Kiev District. Letter of explanation. Kiev, 56 p. (in Russian).

Shestopalov V.M., Drobnokhod N.I., Lialko V.I., Ognianyk N.S., Sytnikov A.B., Sukhorebriy A.A., Borevskiy B.V., But Yu.S., Mytnyk M.M., Briks A.L., Gavlovskiy S.A., Lyutiy G.G., Morozov V.I., Golov-

chenko Yu.G., Bayer R.A., Zhuk S.G., Kubko Yu.I., Mandryk B.I., 1989. Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Water exchange in vivo. Kiev: Naukova Dumka, 288 p. (in Russian).

Yakovlev E.O., 2011. Assessment of the influence of pore solutions in regional low-permeable layers on formation of proper ground drinking water resources. *Mineralni resursy Ukrainy*, № 1, p. 37-39 (in Ukrainian).

Статья поступила
05.02.2018