

## **ИЛОВЫЕ РАСТВОРЫ ПРЕСНЫХ ВОДОЕМОВ РАВНИННОЙ ЧАСТИ УКРАИНЫ**

**А.А. Сухоробрый**

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

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

Иловые (поровые) растворы донных отложений пресных водоемов рассматриваются как самостоятельный тип природных вод, который образует переходную зону между поверхностными и грунтовыми водами. Они имеют восстановительные условия, отличаются химическим составом, повышенным содержанием ряда компонентов (сероводород, аммоний, железо). Приводятся результаты натурных исследований иловых растворов некоторых пресных водоемов Украины (реки, озера, водохранилища).

*Ключевые слова:* иловый раствор, пресные водоемы, химический состав.

## **THE SILT SOLUTIONS OF THE FRESH WATER BODIES IN THE FLAT TERRAIN OF UKRAINE**

**A.A. Sukhorebriy**

*(Recommended by academician of NAS of Ukraine V.M. Shestopalov)*

*Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, E-mail: geoj@bigmir.net  
Doctor of geological sciences, leading research scientist.*

The poral sediment solutions of fresh water basins are considered as a separate type of natural water that forms a transition zone between surface water and under ground water. They are characterized by reduction conditions, a specific chemical content and an increased matter of some components (hydrogen sulfide, ammonium, ferrum). There are the represented results of the full-scale study on the poral sediment solutions of some fresh water bodies of Ukraine (rivers, lakes, reservoirs).

*Key words:* polar solution, fresh water basins, chemical content.

## **МУЛОВІ РОЗЧИНИ ПРІСНИХ ВОДОЙМИЩ РІВНИННОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНИ**

**А.А. Сухоробрый**

*(Рекомендовано акад. НАН України В.М. Шестопаловим)*

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

Мулові (порові) розчини донних відкладів прісних водоймищ розглядаються як самостійний тип природних вод, який утворює перехідну зону між поверхневими та ґрунтовими водами. Вони мають відновлювальні умови, відрізняються хімічним складом, підвищеним вмістом окремих компонентів (сірководень, амоній, залізо). Надані результати натурних досліджень мулових розчинів деяких прісних водоймищ України (річки, озера, водосховища).

*Ключові слова:* муловий розчин, прісні водоймища, хімічний склад.

Необходимость изучения донных иловых растворов пресных водоемов отмечал В.И. Вернадский в своей фундаментальной работе «История природных вод». Пресные иловые воды рек и озер он выделил в самостоятельный тип («семейство»), указав на их значение для научных и практических проблем. В частности, В.И. Вернадский отметил влияние пресных иловых вод на пластовые и волосные (поровые) воды в осадочных породах [Вибрані..., 2012].

Изучение иловых вод (растворов) пресных водоемов со времен опубликования «Истории природных вод» проводилось весьма слабо, в отличие от изучения иловых вод океанов и морей, а также соленых озер и лиманов, имеющих бальнеологическое значение. В эту группу природных вод входят иловые растворы различных пресных водоемов – рек, водохранилищ, прудов, которые непосредственно связаны с питьевыми подземными водами. Взаимосвязь поверхностных вод пресных водоемов с водоносными горизонтами осуществляется через иловые (поровые) растворы, которые таким образом участвуют во всех процессах массопереноса зоны активного водообмена. Но, кроме транспортировки в подземные водоносные горизонты солей из поверхностной воды водоема, иловые растворы донных отложений также приносят в подземные воды химические соединения, которые образуются в иловом растворе при его метаморфизации и богатых органикой иловых осадках или выщелачиваются из илов.

В Институте геологических наук (ИГН) НАН Украины изучение иловых растворов пресных водоемов проводится с 1980-х годов одновременно с изучением лиманов и соленых озер юга Украины. Выполнялось непосредственное изучение илового раствора, который отжимался из донного ила. Образец ила отбирался из водоема специальным пробоотборником – винипластовой трубкой длиной до 1,5 м. Извлеченная из трубки колонка донного осадка разрезалась на отдельные образцы (по 10 см), из которых отжимался иловый раствор. В.И. Вернадский отмечал, что отжатие и центрифугирование – единственно правильный способ получения илового раствора. Отжатие из ила производилось специальным устройством (пресс-формой), созданным в ИГН НАН Украины [Водообмен..., 1988]. Учитывая высокую

влажность донного ила, рабочее давление не превышало 5 МПа (в основном 0,1–2 МПа). Для отбора верхнего слоя донного ила использовался пробоотборник длиной 20 см.

Объектом изучения пресных иловых растворов были различные водоемы равнинной части Украины – реки, озера, водохранилища. К ним относятся: рукава и притоки рек Днепр и Десна; реки Самара, Унава, Грузский Еланчик; озера в бассейне Десны; водохранилища Киевское, Каховское, Басов Кут (Ровенская область); Днестровский лиман. Водоемы этого типа входят составной частью в инфильтрационную систему артезианских бассейнов, поскольку являются одним из элементов питания и зоной питания и разгрузки подземных вод. Эти водоемы сформированы водами атмосферного происхождения, поэтому и седиментационные иловые растворы также относятся к инфильтрогенным (атмосферным) водам, несмотря на прямую связь с седиментогенезом.

Донные осадки пресных водоемов (илы, песок) содержат поверхностную воду, перешедшую в иловый раствор в процессе седиментогенеза. Содержание илового раствора в осадке зависит от гранулометрического состава осадка и глубины залегания. Наибольшее количество иловой воды находится в самом верхнем слое донных иловых отложений, граничащим с поверхностной водой. В опробованных нами водоемах естественная влажность донных отложений в интервале 1–10 см колеблется в широких пределах в зависимости от содержания в осадке глинистого материала и органического вещества. Так, в р. Козинка (правый рукав р. Днепр) естественная влажность иловых отложений в точке опробования составляет 31,8 вес.%; в р. Грузский Еланчик (Хомутовская Степь) – 64,5%; в р. Унава – 185,3%; в заливе р. Десна – 107,6 %. В пресных озерах и водохранилищах наблюдается аналогичная обстановка: оз. Бобков Круг (бассейн р. Десна) – 132,0%; водохранилище Басов Кут (Ровенская область) – 238,8%; Киевское водохранилище – 50%; Днестровский лиман (устье) – 20,3 вес. %. Более низкая естественная влажность связана с песчаными донными отложениями, содержащими мало органического вещества. С глубиной по разрезу естественная влажность донных отложений уменьшается вследствие уплотнения осадка.

Иловые растворы пресных водоемов равнинной части Украины в гидрохимическом отношении отличаются от поверхностной воды. Пресный, относительно неглубокий водоем, как и соленый, состоит из двух гидрохимических зон: поверхностная вода – иловый раствор. Граница между зонами проходит по дну водоема, захватывая первые сантиметры донных отложений. По В.И. Вернадскому, эти две зоны различаются по газовому составу: верхняя – кислородная, нижняя – бескислородная [Вибрані..., 2012]. Наличие в илах органического вещества и живых биоорганизмов обусловило интенсивные биохимические процессы в бескислородной среде. В результате в поверхностной воде формируется окислительная среда, в иловых растворах донных отложений – восстановительная. Это наблюдается как в пресных, так и в соленых водоемах [Бабинец, Сухоребрый, 1981].

Выполненные нами полевые исследования пресных водоемов показали различие поверхностной воды и илового раствора по окислительно-восстановительным условиям. Для поверхностной воды изученных водоемов характерен положительный окислительный потенциал:  $Eh$  воды колеблется в пределах +195 (р. Самара) до +276 мВ (водохранилище Басов Кут) нормального водородного электрода. В иловых растворах этих водоемов восстановительный потенциал верхнего слоя (первые 20–50 см) составил от –1 (оз. Бобков Круг) до –189 мВ (Каховское водохранилище). Следует отметить, что самый верхний слой иловых отложений, который В.И. Вернадский выделял в самостоятельный газовый слой, часто имеет положительный окислительный потенциал илового раствора. Этот пограничный слой мощностью 1–5 см является переходной геохимической зоной между поверхностной водой и иловым раствором донных отложений. С глубиной окислительно-восстановительный потенциал илового раствора может колебаться в зависимости от интенсивности биохимических процессов в осадке, но восстановительная обстановка сохраняется в пределах всего илового слоя. В качестве примера в табл. 1 приводим  $Eh$  и pH илового раствора двух рек – Грузского Еланчика и Самары. Потенциал раствора измерялся непосредственно в иловом осадке.

В целом, кислотно-щелочные свойства иловых растворов обследованных водоемов изменяются от слабокислых до щелочных, pH колеблется в пределах 5,32–8,19. pH придонной воды составляет 7,25–8,39.

Восстановительная среда влияет на изменение химического состава иловых растворов. В иловом растворе появляются компоненты, связанные с метаморфизацией органического вещества и с жизнедеятельностью бактерий. Прежде всего это сероводород, который присутствует в растворе биогенных илов. В поверхностной (придонной) воде он обычно отсутствует. В пресном

**Таблица 1.** Окислительно-восстановительный потенциал ( $Eh$ ) и pH речного илового раствора (значение потенциала приведено к нормальному водородному электроду)

**Table 1.** Redox potential ( $Eh$ ) and pH of the river poral solution (potential values are represented according to a standard hydrogen electrode scale)

Глубина от дна реки, м	$Eh$ , мВ раствора	pH раствора
Река Самара		
Придонная вода	+195	8,14
Иловый раствор		
0,05–0,10	-138	7,37
0,20–0,30	-151	7,09
0,40–0,50	-152	7,44
0,60–0,70	-160	7,18
0,70–0,80	-147	7,15
Река Грузский Еланчик		
Придонная вода	+426	
Иловый раствор		
0,05–0,10	-64	7,06
0,10–0,20	-65	7,02
0,20–0,30	-4	6,63
0,30–0,40	-4	6,81
0,40–0,50	-24	6,80
0,50–0,56	-62	7,03

иловом растворе содержание сероводорода колеблется в достаточно широких пределах, что, очевидно, связано с деятельностью сероводородных бактерий. По нашим данным, содержание сероводорода в иловых растворах некоторых рек и водохранилищ составляет от 0 до 26 мг/дм<sup>3</sup>. В частности, в Каховском водохранилище – 3,1 мг/дм<sup>3</sup> (интервал 0–0,05 м от дна водоема), р. Грузский Еланчик – 0,95–1,17 мг/дм<sup>3</sup> (интервал 0–0,5 м), в оз. Бобков Круг – 0,85–3,4 мг/дм<sup>3</sup> (интервал 0–0,3 м), в р. Самара – 9,67–26,29 мг/дм<sup>3</sup> (интервал 0–0,8 м). Наибольшие значения H<sub>2</sub>S обычно наблюдаются в самом верхнем (донном) слое илов; по разрезу осадка содержание сероводорода убывает, но в отдельных интервалах глубин возможно локальное повышение его концентрации (в зависимости от содержания органических веществ). В целом, концентрация сероводорода в иловых растворах пресных водоемов значительно ниже, чем в соленых лиманах и озерах юга Украины [Бабинец, Сухоребрий, 1981].

Биохимические процессы в пресноводных илах обогащают иловые растворы аммонием и железом. В поверхностной воде обследованных водоемов содержание незначительно – 0,1–1,0 мг/дм<sup>3</sup>. В иловом растворе этих водоемов количество аммония составляет 1,5–37,5 мг/дм<sup>3</sup>. Наиболее высокое содержание аммония установлено в иловых растворах черных биогенно-терригенных илов водохранилища Басов Кут – 1,5–10,0 мг/дм<sup>3</sup> (интервал от дна водоема 0–0,51 м), оз. Бобков Круг – 21,0–30,0 мг/дм<sup>3</sup> (интервал 0–0,30 м), р. Грузский Еланчик – 11,0–37,5 мг/дм<sup>3</sup> (интервал 0–0,56 м). Повышенная концентрация аммония отмечается уже в самом верхнем слое илов (первые 10 см): р. Грузский Еланчик – 11,0 мг/дм<sup>3</sup>; р. Козинка – 15,0 мг/дм<sup>3</sup>; р. Унава – 20,0 мг/дм<sup>3</sup>; оз. Бобков Круг – 21,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Железо иловых растворов также можно отнести к компоненту преобразования органического вещества. В поверхностной воде пресных водоемов, по нашим данным, его содержание колеблется от 0 (следы) до 1,2 мг/дм<sup>3</sup>. В иловых растворах концентрация общего железа значительно выше: от 0,44 до 19,5 мг/дм<sup>3</sup>. Из обследованных водоемов наиболее высокое содержание железа отмечается в иловых растворах р. Самара – 2,4–3,6 мг/дм<sup>3</sup>, р. Грузский

Еланчик – 7,56–9,2 мг/дм<sup>3</sup>, а также в оз. Бобков Круг – 1,6–19,5 мг/дм<sup>3</sup> (интервалы глубин от дна водоема 0,3–0,7 м). В этих водоемах илы биогенно-терригенные и торфянистые, слабокислая среда (рН до 5); поэтому можно предположить, что железо переходит в раствор в виде органо-минеральных комплексов. Отметим также, что в общем содержании железа присутствуют как двухвалентная, так и трехвалентная формы; это соответствует переходной окислительно-восстановительной обстановке.

Минерализация иловых растворов пресных водоемов, как правило, больше, чем минерализация поверхностной воды. Это связано с дополнительным переходом солей из твердой фазы осадка в иловый раствор. В табл. 2 приведены данные по минерализации поверхностной воды и илового раствора отдельных водоемов.

Как видно из табл. 2, увеличение минерализации иловых растворов отмечается уже в самом верхнем слое осадка. В вертикальном разрезе донных отложений некоторых водоемов (оз. Басов Кут, р. Грузский Еланчик, Каховское водохранилище) прослеживается колебание минерализации иловых растворов в отдельных интервалах, которое, возможно, связано с изменением минерализации самого водоема и различной интенсивностью взаимодействия в системе «ил–поровый раствор».

Несколько иная гидрохимическая обстановка отмечается в иловых растворах солоноватых рек юга Украины. Иловые растворы таких водоемов унаследовали повышенную минерализацию поверхностной воды и в дальнейшем сохраняют ее без заметных изменений. Так, в р. Грузский Еланчик в районе заповедника Хомутовская Степь при минерализации сульфатной речной воды 3 г/дм<sup>3</sup> иловые растворы верхнего слоя (интервал 0–0,6 м) сохраняют минерализацию 2,5–3,0 г/дм<sup>3</sup>.

Химический состав седиментогенных иловых растворов пресных водоемов унаследован от поверхностной воды и в основном отражает химическую структуру материнского водоема. Иловые растворы пресных водоемов относятся к типу пресных гидрокарбонатных или гидрокарбонатно-сульфатных кальциево-магниевых, натриево-магниевых (южные районы) природных вод. По сравнению с поверхностной водой изменения в

**Таблица 2.** Минерализация поверхностной воды и иловых растворов донного слоя пресных водоемов Украины

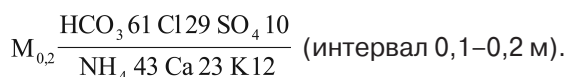
**Table 2.** Mineralization of surface water and poral sediment solutions in fresh water bodies of Ukraine

Водоем	Глубина донного слоя, м	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	
		Поверхностная (придонная) вода	Иловый раствор
Киевское водохранилище	0–0,05		
Каховское водохранилище	0–0,40	341	641–1462
Водоохранилище Басов Кут (Ровенская область)	0–0,50	588	540–938
Оз. Бобков Круг (долина р. Десна)	0–0,30	105	152–243
Река Козинка (рукав р. Днепр)	0–0,25	247	362–395
Рукав р. Десна	0–0,20	248	336–361
Река Унава (Житомирская область)	0–0,10	798	1056
Днестровский лиман (устье)	0,05–0,15	611	1471

ионно-солевым составе незначительны и затрагивают в основном сульфат-ион, содержание которого в иловом растворе может колебаться под влиянием выщелачивания из осадка или десульфатизации, при наличии сульфатредуцирующих бактерий. Наиболее ярким примером сульфатредукции в обследованных водоемах является слабосоленая р. Грузский Еланчик (Хомутовская Степь). Речная вода в ней имеет основной химический состав сульфатный натриевый (SO<sub>4</sub> – Na), который сохраняется в самом верхнем (придонном) слое илового раствора (0–0,1 м). Ниже по разрезу (0,1–0,5 м) химический состав илового раствора в результате десульфатизации с участием органического вещества метаморфизуется в гидрокарбонатный натриевый (HCO<sub>3</sub> – Na). Если содержание сульфат-иона в верхнем слое илового раствора составляет 57%-экв., то в нижних слоях – 5–12%-экв.

Состав катионов иловых растворов также может метаморфизоваться под влиянием биохимических процессов. Преобразование органического вещества речного осадка и сульфатредукция способствуют накоплению в иловом растворе иона аммония, о чем говорилось выше. Высокое содержание (до 20–30 г/дм<sup>3</sup>) может существенно влиять на структуру катионного состава илового раствора, особенно при низкой минерализации раствора (около 0,2–0,4 г/дм<sup>3</sup>). В этом случае относительное содержание аммония в иловом растворе может достигать 25–40%-экв. В таких ило-

вых растворах аммоний входит в катионный состав как один из основных компонентов и даже может быть ведущим катионом. Примером могут служить иловые растворы оз. Бобков Круг (бассейн р. Десна). При минерализации илового раствора 0,2 г/дм<sup>3</sup> содержание достигает 23–43%-экв. Химический состав таких иловых растворов относится к гидрокарбонатно-хлоридному аммонийно-кальциевому типу:



В иловых растворах р. Козинка (правый приток р. Днепр) содержание аммония составляет 13–14%-экв., что также позволяет ввести его в катионный состав.

Одним из продуктов метаморфизации илового раствора, который может изменить катионный состав, является железо. Его относительное содержание в некоторых из обследованных водоемов достигает 10–30%-экв., что позволяет иону железа быть в числе главных катионов илового раствора (оз. Бобков Круг, р. Козинка).

Химический состав иловых растворов, как отмечалось выше, в основном унаследован от поверхностной воды водоема. На с. 88 приведены примеры наиболее часто встречаемого состава иловых растворов пресных водоемов равнинной части Украины.

Изменение химического состава поверхностной воды водоема в результате техногенного влияния отражается и на иловых растворах донных отложений. Например,

1. Днестровский лиман	$M_{1,5} \frac{Cl 54 HCO_3 25 SO_4 18}{Na 48 Mg 27 Ca 21}$	(интервал от дна 0,05–0,15 м).
2. Киевское водохранилище	$M_{0,4} \frac{HCO_3 70 SO_4 15 Cl 9}{Ca 54 Mg 32 Na 11}$	(интервал 0–0,05 м).
3. Каховское водохранилище	$M_{1,5} \frac{HCO_3 71 Cl 23 SO_4 6}{Ca 46 Mg 23 Na 20}$	(интервал 0–0,05 м).
4. Водоохранилище Басов Кут	$M_{0,7} \frac{HCO_3 62 Cl 22 SO_4 15}{Ca 60 Mg 19 Na 18}$	(интервал 0–0,8 м).
5. Оз. Бобков Круг	$M_{0,2} \frac{HCO_3 61 Cl 29 SO_4 18}{Ca 40 K 21 Na 19 Mg 16}$	(интервал 0,1–0,2 м).
6. Река Козинка	$M_{0,4} \frac{SO_4 43 HCO_3 38 Cl 18}{Ca 51 Mg 22 Na 18}$	(интервал 0–0,05 м).
7. Река Унава	$M_{1,1} \frac{HCO_3 74 Cl 21 SO_4 5}{Ca 57 Mg 18 Na 10}$	(интервал 0–0,1 м).

в старом русле р. Самара сброс соленых шахтных вод вызвал засоление речной воды до минерализации 6,3 г/дм<sup>3</sup> смешанного хлоридно-сульфатного и сульфатно-хлоридного натриево-магниевого состава. Это техногенное влияние было прослежено нами в иловых растворах реки до глубины 0,84 м от дна водоема. В этом метровом интервале иловые растворы имеют минерализацию от 5,5 (интервал 0–0,1 м от дна) до 4,8 г/дм<sup>3</sup> (интервал 0,7–0,8 м). Состав илового раствора преимущественно сульфатно-хлоридный натриево-магний. Судя по характеру химического профиля иловых растворов, техногенное влияние распространяется значительно глубже исследованной метровой толщи донных осадков реки.

При высыхании водоема слой илового раствора донных отложений попадает в обстановку окислительного и испарительного режима. В этих условиях пресные гидрокарбонатные растворы сухих водоемов концентрируются и метаморфизуются. Образуются солоноватые сульфатные иловые растворы с высоким содержанием нитратов

(например, высохший пруд в лесостепной зоне Житомирской области):

$$M_3 \frac{SO_4 58 NO_3 19 HCO_3 18}{Ca 68 Mg 27} \quad (\text{интервал } 0,5 \text{ м от дна}).$$

Проведенные натурные исследования пресных водоемов равнинной части Украины подтверждают целесообразность выделения иловых растворов в самостоятельную группу природных вод, что предложил еще в 30-е годы прошлого столетия В.И. Вернадский. Это обусловлено положением иловых растворов в разрезе зоны активного водообмена и химическими особенностями (в частности, бескислородным газовым составом, восстановительными условиями, микрокомпонентами). Иловые растворы пресных водоемов (рек, озер, водохранилищ) образуют отдельный слой между водоемом и грунтовыми водами. Через этот слой происходит транзит поверхностных вод в подземные воды с переносом солей и возможных загрязняющих веществ. Поэтому изучение иловых растворов донных отложений пресных водоемов имеет как научное, так и практическое значение.

## Список литературы / References

1. Бабинец А.Е., Сухоробрий А.А. О гидрогеологических особенностях донных отложений лиманов северо-западного Причерноморья. *Геол. журн.* 1981. № 2 (197). С. 104–111.

Babynets A.E., Sukhorebriy A.A., 1981. About hydrogeological features of the sediments in North-West Black Sea limans. *Geologicheskii zhurnal*, № 2 (197), p. 104–111 (in Russian).

2. Вибрані наукові праці академіка В.І. Вернадського. Т. 6. Історія природних вод. Київ, 2012. 754 с.

*Selected scientific proceedings by academician V.I. Vernadskiy. Vol. 6. History of natural waters. Kyiv, 2012, 754 p. (in Ukrainian).*

3. *Водообмен* в гидрогеологических структурах Украины. Методы изучения водообмена / гл. ред. В.М. Шестопалов. Киев: Наук. думка, 1988. 270 с.

*Water exchange* in hydrogeological structures of Ukraine. Methods of the water exchange study, 1988 / Editor-in-Chief V.M. Shestopalov. Kiev: Naukova Dumka, 270 p. (in Russian).

Статья поступила  
21.10.2014