

О ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛИМАНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

А. Е. Бабиниц, А. А. Сухоребрий

Гидрогеохимическое изучение жидкой фазы лиманных осадков так называемых поровых, или иловых, растворов дает представление о формировании химического состава седиментогенного типа подземных вод на самой ранней стадии диагенеза в условиях, переходных от морских к континентальным. Сопоставление состава поровых растворов с водами лиманов и Черного моря позволяет проследить гидрогеохимические изменения, происходящие в поровых растворах при взаимодействии с осадком, а также установить ведущую роль первичного химического состава лиманных вод, из которых формируются поровые растворы донных отложений.

Буровые работы, проводимые Укргипроводхозом в акватории лиманов северо-западного Причерноморья (междуречье Дунай—Днепр), позволили авторам изучить поровые растворы донных отложений лиманов до глубины 4—32 м от дна водоема (интервал опробования от 1 до 2,5 м). Гидрогеохимическое исследование скважин было дополнено изучением поровых растворов донного слоя и воды лиманов в полевые периоды 1978—1979 гг. При отпрессовании поровых растворов использовались мембранные прессформы с вкладышами из оргстекла. В результате проведенных работ была получена гидрогеохимическая характеристика голоценовых лиманных отложений. (Авторы благодарны В. А. Болтивцу за предоставленный для исследований керновый материал.)

Четвертичные отложения, выполняющие эрозионные долины лиманов, представлены в основном песчано-глинистыми илами, содержащими от 0,15 до 1,01 % органического углерода. Жидкая фаза этих отложений составляет от 20 до 170 вес. %. Содержание основных химических компонентов лиманных илов следующее (в %): 36—74 SiO_2 , 4—13 Al_2O_3 , 1—4 Fe_2O_3 , 1—3 FeO , 1—25 CaO , 0,8—2,7 Na_2O , 1,3—2,5 K_2O , 1,3—2,7 MgO , 2,6—20 CO_2 карб.

Поровые растворы лиманных илов можно рассматривать как продукт одной из первых стадий формирования подземных вод седиментогенного типа за счет поверхностных вод лиманов в процессе осадко-накопления. На этой стадии химический состав поровых растворов определяют в основном два геохимических фактора: 1) химический состав «материнской» воды лиманов, образующей поровые растворы и 2) биохимические процессы, происходящие в системе осадок—раствор и обуславливающие изменение химического состава раствора. Безусловно, общая гидрохимическая обстановка усложняется такими процессами, как диффузия, смешение поровых растворов при уплотнении осадка, обменные процессы, но все же на ранней стадии диагенеза в формировании химического состава поровых растворов лиманов первых два фактора являются определяющими.

Будучи типично седиментогенными водами, поровые растворы донных отложений черноморских лиманов унаследовали основные черты химического состава вод лиманов. Это прежде всего относится к общей минерализации поровых растворов, которая, как и в воде лиманов, изменяется от 9 до 160 г/л. По преобладающим компонентам поровые растворы лиманов, как и воды большинства лиманов, относятся к хлоридным натриевым водам (по классификации Курнакова—Валяшко, — к сульфатно-магниевым). Сравнительная характеристика воды и поро-

вых растворов лиманов северо-западного Причерноморья приведена в табл. 1. Химические анализы выполнены в гидрохимической лаборатории ИГН АН УССР химиком-аналитиком Н. З. Артюновой. Состав поверхностной воды лиманов дан по результатам опробования, проведенного в августе 1979 г.

Как видно из табл. 1, для большинства лиманов минерализация поровых растворов в отдельных интервалах глубин намного превышает минерализацию лиманной воды. Это объясняется унаследованностью химического состава поверхностных вод, который резко изменялся как в различные периоды года, так и на протяжении всего голоцена, а также консервативностью среды, обусловившей стратификацию поровых растворов в разрезе четвертичных отложений (рис. 1). Стратификация отчетливо проявляется в резких, часто незакономерных колебаниях минерализации по вертикали, которые сопровождаются изменениями качественного состава, прежде всего изменением содержания сульфатов и карбонатов. Стратификация поровых растворов отражает гидрохимическую обстановку палеолиманов — их опреснение, связь с морем, концентрирование солей в воде при испарительном режиме. В целом среди поровых растворов лиманов можно выделить поровые растворы, близкие к нормальной и концентрированной морской воде, поровые растворы, близкие к смешанным морским и речным водам, и метаморфизованные растворы.

При сопоставлении гидрохимических разрезов различных лиманов намечается общая закономерность изменения минерализации поровых растворов донных отложений лиманов, которая связана с геологической историей Черного моря в этом районе [4]. Эта закономерность определяется, по нашему мнению, морскими трансгрессиями и регрессиями, обусловившими связь лиманов с морским бассейном. По гидрохимическим профилям четвертичных отложений лиманов можно выделить лиманы, имевшие постоянную связь с морем в голоцене (открытые палеолиманы), и лиманы, которые теряли связь с морем, что вызвало резкое изменение их гидрохимического режима (закрытые палеолиманы).

К первой группе относятся Днепровский, Днестровский, Березанский, Тилигульский лиманы. Их гидрохимические профили характеризуются относительно небольшими колебаниями минерализации порового раствора с максимумом 20—25 г/л в древне- и новочерноморских отложениях (вероятная соленость морского палеобассейна) (см. рис. 1). В этих лиманах поровые растворы представляют собой седиментогенные нормально-морские воды, в различной степени разбавленные пресными континентальными, более сульфатными водами. По химическому составу они близки к современным водам лиманов открытого типа, что подтверждает постоянную их связь с морем не только в период древнечерноморской и нимфейской трансгрессий, но и в фанагорийскую регрессию черноморского бассейна.

Вторая группа лиманов — Хаджибейский, Будаковский, Тузловская группа лимано-лагунов — имеет совершенно иной гидрохимический разрез донных отложений (см. рис. 1). Непосредственно под донным слоем установлена зона повышенной минерализации порового раствора, значительно превышающей минерализацию воды этих лиманов и порового раствора донного слоя. Эта зона с минерализацией поровых растворов до 70—160 г/л приурочена к верхам новочерноморских и фанагорийским отложениям. Ниже в лиманах этой группы прослеживается уменьшение минерализации порового раствора илов по всему разрезу древнечерноморских и новозэксинских отложений (см. рис. 1). Характер гидрохимических разрезов этих лиманов позволяет предположить, что в конце новочерноморского и особенно в фанагорийское время произошло частичное либо полное отделение их от моря в ре-

Таблица 1

Химический состав воды и поровых растворов лиманов северо-западной части Черного моря

Лиман	Вода лимана (август 1979 г.)										Поровый раствор донных отложений					
	Общая минерализация, г/л	Относительное содержание компонентов, мг-экв, %					Общая минерализация, г/л	Относительное содержание компонентов, мг-экв, %					Глубина отбора от дна лимана, м			
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺		Ca ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Сасык	15,7	84	14	2	73	20	6	1	84	12	4	74	19	5	2	0,05—0,2
Алибей	21,0	84	15	1	73	20	6	1	86—95	5—12	0,1—2	71—76	19—23	2—5	1—2	0,02—9,0
Бурнас	25,8	89	10	1	75	19	4	2	85—89	6—16	0,1—5	72—75	19—21	2,5—6	1,5—2	0,03—4,0
Будаковский (западная часть)	12,2	88	10	2	75	18	5	2	78—99	0,4—21	0,2—11	61—81	15—25	1—13	0,85—3,3	0,05—22,2
Днепровский (район Овидиополя)	0,6	25	34	41	28	25	44	3	53	19	28	48	27	21	4	0,05—0,15
Хаджибейский (южная часть)	9,2	82	14	4	73	20	6	1	67—94	2,5—31	0,2—15	46—78	18—35	4—16	1,1—2,6	0,01—30,0
Куюльницкий (южная часть)	96,5	96	3,5	0,2	71	24	4	1	96,6	3,2	0,2	71	24	4	1	0,05—0,15
Тиллигульский (южная часть)	14,7	88	10	2	76	20	3	1	55—90	1,5—4,3	1—9,5	55—75	20—27	3—17	1,6—3,0	0,05—4,0
Береанский (центральная часть)	10,3	88	11	1	75	18	5	2	54,5—91	3—43	1,5—14	43—71	16—29	5—32	1—2,5	0,03—16,6
Днепровский (устье)	14,3	89	10	1	77	17	4	2	66—91	4—33	0,6—9,0	62—79	13—22	2—15	1,3—2,8	1,0—32,0

зультате морской регрессии, что привело к формированию гидрохимического режима закрытых водоемов (концентрирование лиманной воды). Аналогичная картина наблюдалась при окончательном отшнуровании лиманов в современную эпоху: еще сто лет назад минерализация воды в Хаджибейском лимане достигла 90, а в Тузловской группе лимано-лагун — 140 г/л [1, 3]. После фанаторийской регрессии в нимфей-

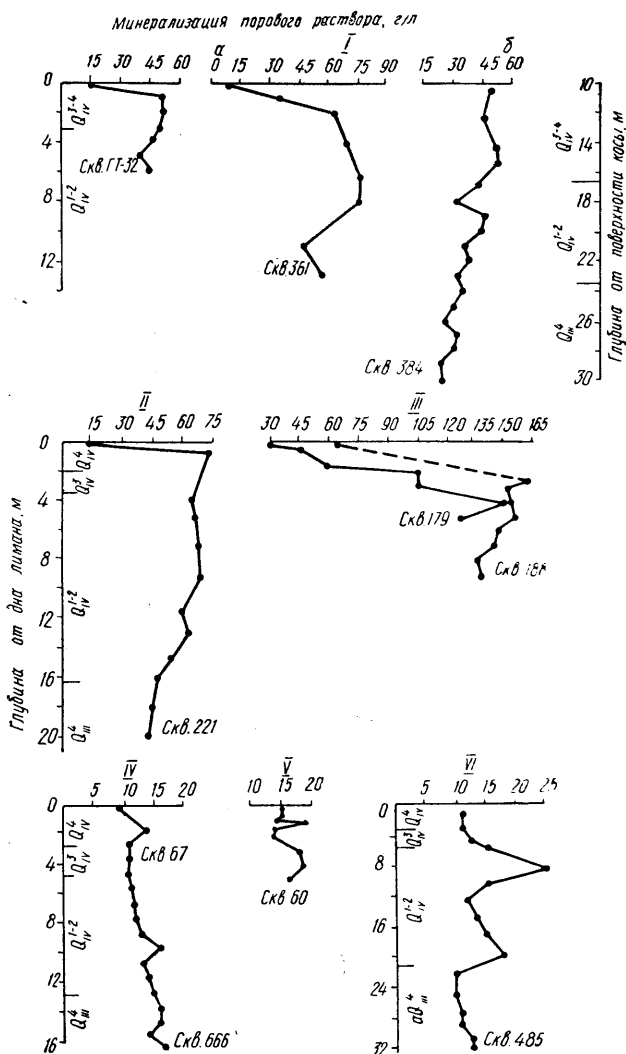


Рис. 1. Изменение минерализации поровых растворов лиманных отложений с глубиной Палеолиманы закрытого типа: I — Хаджибейский (а — акватория, б — коса), II — Будакский, III — лиман Алибей. Палеолиманы открытого типа: IV — Березанский, V — Тилигульский, VI — Днепровский

ское время связь лиманов с морем была восстановлена, и их повторное отделение произошло лишь сравнительно недавно. Это нашло отражение в резком уменьшении минерализации порового раствора нимфейских и современных отложений (самая верхняя часть гидрохимических профилей).

Что касается дальнейшего изменения химического состава поровых растворов в осадке, то необходимо прежде всего отметить, что еще до образования седиментогенных иловых растворов «материнские» воды лиманов претерпевают значительные изменения под влиянием различ-

ных гидрологических и климатических факторов. Е. С. Бурксер [1] и другие исследователи рассматривают лиманные воды как воды различной степени метаморфизации. В связи с этим дальнейшая расшифровка метаморфизации поровых растворов весьма затруднительна, так как далеко не всегда можно установить первоначальный химический состав лиманной воды при седиментации и последующие его изменения в поровом растворе при диагенезе осадка. Тем не менее сопоставление современной воды лиманов с поровым раствором позволяет установить некоторые довольно существенные химические изменения поровых растворов, связанные прежде всего с биохимическими процессами в лиманных отложениях — преобразованием органического вещества и сульфатредукцией [5].

Воды лиманов, переходя в процессе осадконакопления в стадию поровых растворов, попадают в иную геохимическую обстановку. Полевые потенциметрические измерения в ряде лиманов установили наличие геохимического восстановительного барьера в отложениях донного слоя: для воды лиманов характерна окислительная среда ($Eh = +100 \dots +425$ мВ), для водонасыщенных илов донного слоя (глубина от дна 0,05—0,1 м) — восстановительная ($Eh = -120 \dots -235$ мВ). Переходная геохимическая зона в донных осадках лиманов приурочена к первым 5—10 см донного слоя и отчетливо наблюдается визуально по изменению окраски осадка от желто-бурого до черного. Значения рН поверхностных вод и поровых растворов также отличаются: воды лиманов более щелочные (рН=7,8—9,1), поровые растворы донного слоя более кислые (рН=6,53—7,4); однако с глубиной рН поровых растворов увеличивается до 6,9—9,1.

Переход поверхностной воды лиманов из окислительной среды в восстановительную приводит к обогащению поровых растворов сульфидами, в частности сероводородом. Так, в поровом растворе донного слоя Тилигульского лимана (глубина от дна 0,05—0,2 м) установлено общее содержание сульфидов 91,9 мг/л (сероводород и гидросульфиды), донного слоя Сиваша — до 334,7 мг/л, Днепровского лимана (глубина 8,1—8,4 м) — 6,6 мг/л. В результате взаимодействия с органическим веществом осадка поровые растворы обогащаются такими биогенными микроэлементами, как кремний, фосфор, резко возрастает их окисляемость за счет увеличения в растворе органического вещества. В табл. 2 приведено сравнительное содержание этих компонентов в придонной воде лиманов и поровых растворах илов донного слоя.

Повышенные содержания биогенных элементов в поровых растворах наблюдаются по всем изученным разрезам лиманных отложений

Таблица 2

Содержание кремния, фосфатов, величины окисляемости в придонной воде лиманов и поровом растворе донного слоя

Лиман	мгSiO ₂ /л		мгPO ₄ ³⁻ /л		Щелочная окисляемость, мгО/л	
	Вода	Поровый раствор	Вода	Поровый раствор	Вода	Поровый раствор
Сасык	7,6	30,0	0,42	—	10,1	13,58
Алибей	12,6	11,0	0,75	0,29	8,54	19,4
Будакский	6,8	17,0	0,44	1,9	6,2	21,34
Хаджибейский	10,8	45,0	11,1	43,4	10,86	29,1
Тилигульский	8,6	54,0	1,01	13,5	13,58	34,92
Березанский	20,8	22,0	0,18	0,75	7,76	23,28
Сиваш	4,6	33,0	0,4	0,61	9,7	—

(глубина исследования донных отложений лиманов указана в табл. 1). Щелочная окисляемость поровых растворов в Березанском лимане достигает 24,4—97,8 мг/л, в Будацком — 18,3—69,7, в Днепровском — 30—118. Содержание растворенного кремния в поровых растворах Березанского лимана составляет 30—72 мг SiO₂/л, Днепровского — 16—72, Будацкого — 21—66, Хаджибейского — 18—63. Содержание фосфатов в поровых растворах Березанского лимана изменяется от 0,16

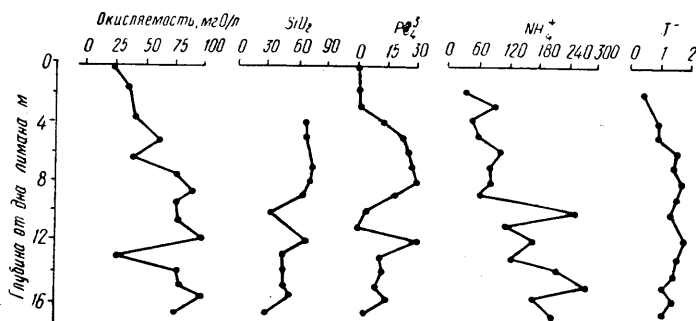
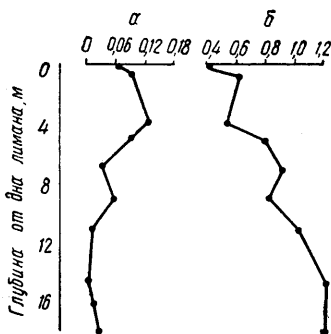


Рис. 2. Изменение с глубиной окисляемости (мг/л) и содержания SiO₂, PO₄³⁻, NH₄⁺, I⁻ в поровых растворах илов Березанского лимана (мг/л)

Рис. 3. Изменение с глубиной отношения SO₄²⁻/Cl⁻ (а) и коэффициента метаморфизации $\frac{rCl^- - rNa^+}{rMg^{2+}}$ (б) поровых растворов илов Будацкого лимана



до 29,5 мг PO₄³⁻/л, Днепровского — от 0,18 до 10,6, Тилигульского — от 0,4 до 13,7, Хаджибейского — от 0,1 до 43,4, Будацкого — от следов до 4,6, Алибей — от 0,1 до 1,3. Поровые растворы лиманных отложений обогащены также аммонием — от 3,5 до 275 мг/л (Березанский, Днепровский лиманы) и йодом — от 0,4 до 5,9 мг/л (Хаджибейский, Будацкий, Тилигульский, Березанский лиманы), что значительно превышает содержание йода в воде этих лиманов (0,3—0,6 мг/л).

Накопление в поровых растворах лиманов биогенных элементов происходит, как и в морях, в результате минерализации органического вещества донных отложений [5]. На рис. 2 приведены графики изменения с глубиной некоторых биогенных элементов. Довольно хорошо прослеживается их связь с величиной окисляемости поровых растворов. Резкие колебания концентрации биогенных элементов по вертикали обусловлены, по-видимому, различным содержанием и характером органического вещества осадков. Отметим, что в мелких лиманах минерализуется гораздо более свежее органическое вещество, чем в Черном море, что приводит к не менее высокой концентрации биогенных элементов в поровых растворах лиманов, несмотря на более низкое содержание в лиманных осадках органического вещества (содержание аммония и величина окисляемости, в частности, намного превышают таковые в поровых растворах черноморских осадков).

Выше указывалось, что в лиманах происходит частичная метаморфизация воды, которая наследуется поровыми растворами. Сравнительный анализ химического состава поровых растворов и воды лиманов за весь период их изучения (начиная с XIX в.) позволяет утверждать,

что в осадках происходит дальнейшее изменение основных компонентов поровых растворов, связанное с биохимическими процессами, в частности с восстановительными, обусловленными сульфатредукцией. Уже в поровом растворе донного слоя осадков в результате восстановления сульфатов отмечается резкое понижение сульфат-иона по сравнению с поверхностной водой лиманов в этой же точке опробования. Так, в лимане Сасык коэффициент $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}$ воды (окислительная среда) равен 0,229, а порового раствора донного слоя (восстановительная среда) — 0,19, в лимане Алибей — соответственно 0,24 и 0,178, в Будакском — 0,159 и 0,069, в Днестровском (средняя часть) — 1,88 и 0,469, в Хаджибейском — 0,231 и 0,074, в Тилигульском — 0,150 и 0,065, в Березанском — 0,161 и 0,044, в Сиваше — 0,19 и 0,08, в Каркинитском заливе — 0,171 и 0,069 (все данные относятся к августу 1979 г.). Наиболее близки хлорные коэффициенты сульфат-иона воды и порового раствора в Куяльницком лимане — соответственно 0,049 и 0,045, что связано с глубокой метаморфизацией поверхностной воды этого лимана, отмеченной еще Н. С. Курнаковым и Е. С. Бурксером [1].

С глубиной десульфатизация поровых растворов возрастает, достигая на отдельных интервалах глубин очень высоких значений (хлорный коэффициент SO_4^{2-} понижается до 0,006—0,05). В результате в поровых растворах некоторых черноморских лиманов наблюдается частичная, а в отдельных случаях полная метаморфизация, приводящая к изменению их химического состава. Это характерно для палеолиманов закрытого типа, вода которых была частично метаморфизована при их отделении от моря (Хаджибейский, Будакский, Тузловская группа лимано-лагунов). Так, в илах Хаджибейского лимана на различных глубинах (от 1 до 20 м) коэффициент метаморфизации поровых растворов $\left(\frac{r\text{Cl}^- - r\text{Na}^+}{r\text{Mg}^{2+}}\right)$ равен 0,747—0,797 (акватория и коса лимана); в отложениях лимана Алибей встречены поровые растворы, коэффициент метаморфизации которых достигает 0,822—0,867 (глубина 8,0—9,0 м от дна лимана). В еще большей степени метаморфизованы поровые растворы Будакского лимана: в западной части его на глубине 11—21 м коэффициент метаморфизации поровых растворов древнечерноморских илов достигает 1,043—1,238 (рис. 3), т. е. наблюдается переход сульфатно-магниевого порового раствора в хлоридно-кальциевый (по Курнакову—Валяшко). Подобная метаморфизация в этой части Причерноморья была известна лишь в Куяльницком лимане, имеющем свою, отличную от других лиманов, историю развития в современную эпоху (коэффициент метаморфизации воды этого лимана, по нашим данным, равен 1,013, порового раствора донного слоя — 1,028).

Что касается ионообменных процессов, то их роль, по нашему мнению, в формировании химического состава поровых растворов незначительна. Еще на стадии взвеси осадок длительное время контактирует с водной средой; это приводит к практически полному завершению таких процессов, как растворение солей и обменные реакции. К тому же поглощающая емкость осадка намного ниже общей концентрации солей в поровом растворе, поэтому возможные ионообменные процессы незаметны на фоне таких геохимических факторов, как стратификация поровых растворов, сульфатредукция и т. д.

Выводы

1. Основные черты химического состава седиментогенных поровых растворов лиманных отложений северо-западного Причерноморья унаследованы от поверхностной воды этих лиманов и отражают сложный геохимический режим лиманов в голоцене. Для лиманных поровых

растворов характерно резкое изменение минерализации и химического состава по вертикали, обусловленное их стратификацией. По генетической классификации Курнакова—Валяшко поровые растворы, как и вода лиманов и моря, относятся к сульфатно-магниевым (хлоридно-магниевым).

2. В голоцене ряд лиманов в результате фанаторийской регрессии отделился от моря, что привело к формированию «закрытого» гидрохимического режима. Это нашло отражение в химическом составе поровых растворов донных отложений лиманов (резкое увеличение их минерализации), на основании которого можно выделить палеолимань закрытого и открытого типов.

3. В результате разложения органического вещества, обусловленного биохимическими процессами, в донных отложениях лиманов формируется восстановительная среда в отличие от окислительной в поверхностной воде лиманов, причем геохимический барьер проходит в самой верхней части донного слоя. В этих условиях поровые растворы лиманов уже на самой ранней стадии диагенеза обогащаются кремнием, фосфором, аммонийным азотом, органическим веществом, сероводородом, йодом.

4. Процессы сульфатредукции в водонасыщенных осадках лиманов приводят к десульфатизации поровых растворов, в результате которой происходит частичная, а в отдельных случаях полная их метаморфизация — переход сульфатно-магниевых поровых растворов в хлоридно-кальциевые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурксер Е. С. Солоні озера та лимани України (гідрохімічний нарис) = Les lacs et les limans sales de l'Ukraine (un aspect hugrochimique). К., 1928. 341 с. (Всеукр. Акад. наук. Тр. фіз.-мат. відділу; Т. 8; Вип. 1).
2. Валяшко М. Г. Основные типы природных вод и условия их образования.— Докл. АН СССР, 1955, т. 102, № 2, с. 315—318.
3. Розенгурт М. Ш. Гидрология и перспективы реконструкции природных ресурсов Одесских лиманов. Киев: Наук. думка, 1974. 224 с.
4. Федоров П. В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 160 с. (Тр. Геол. ин-та АН СССР; Вып. 88).
5. Шикина О. В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М.: Наука, 1972. 228 с.

Институт геологических наук
АН УССР

Статья поступила
29.IV 1980 г.

УДК 622(477):556.3

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ КРИВБАССА ПО УСЛОВИЯМ ОБВОДНЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В. Д. Натаров, Ю. С. Осипенко, Н. Б. Денчик

Криворожский железорудный бассейн представляет собой синклиналичную структуру, в которой докембрийские породы фундамента перекрываются маломощным покровом палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений. Основываясь на принципе комплексного структурно-гидрогеологического районирования, согласно которому решающими факторами размещения подземных вод являются геологические и физико-географические [1—3], Криворожский бассейн может быть классифицирован как сложный адартезианский бассейн. С запада он огра-

П-463
Т-41 №2



АКАДЕМИЯ НАУК УССР
ОТДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГИИ,
ГЕОФИЗИКИ
И ГЕОХИМИИ

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ УССР

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Научный журнал,
основан в 1934 г.
Выходит 6 раз в год

ТОМ 41 2•1981

КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА»

УДК 553.98;550.83(477.5—17)

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ ПАЛЕОЗОЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

В. Г. Демьянчук, Г. И. Вакарчук, Б. П. Кабышев, Г. П. Козак

Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) является одним из немногих нефтегазоносных регионов страны, где поиски залежей осуществляются на глубинах более 4500 м. Многие такие месторождения, частично охарактеризованные в литературе*, открыты в центральной части впадины. В последние годы скопления углеводородов на больших глубинах выявлены также в северо-западной части региона на территории работ объединения «Черниговнефтегазгеология». К ним относятся Яблунское, Луценковское, Васильевское, Шумское, Коржевское и ранее выявленное Анастасьевское месторождения (рис. 1). Все они связаны с нижнекаменноугольными отложениями — верхневизейским или турнейско-нижневизейским продуктивными комплексами, а по фазовому состоянию флюидов являются газоконденсатными, нефтяными или газоконденсатно-нефтяными. Рассмотрим строение этих месторождений.

Яблунское газоконденсатное месторождение приурочено к поднятию, расположенному в центральной части Ждановской депрессии (см. рис. 1). По сейсмическому отражающему горизонту V^3_4 в низах карбона оно представляет собой брахиантиклинальную складку субширотного простирания с размерами 11×5 км, амплитудой 450 м и площадью около 40 км^2 . Северное крыло структуры осложнено сбросом с амплитудой 150—200 м (рис. 2, 3). Вверх по разрезу

* Артамонова Т. П., Введенская А. Я. Результаты поисков залежей нефти и газа на больших глубинах в основных районах Советского Союза.— В кн.: Результаты и предпосылки поисков нефти и газа на больших глубинах. Л., 1978, с. 6—42. Арсирый Ю. А. и др. Об эффективности поисков и разведки залежей нефти и газа на больших глубинах в Днепровско-Донецкой впадине / Арсирый Ю. А., Бланк М. И., Завьялов В. М. и др.— Геология нефти и газа, 1973, № 5, с. 55—59.