

А.А.Пасынков, Л.А.Пасынкова

Крымский федеральный университет им.В.И.Вернадского, г.Симферополь

КОМПЛЕКСЫ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ЛАНДШАФТОВ ПРИКРЫМСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ

Рассмотрены характеристики геохимических ландшафтов Прикрымского сектора Черного моря. По материалам морских экспедиционных наблюдений приведены геохимические, гидробиологические, геоморфологические и геологические условия их выделения на шельфе и континентальном склоне Черного моря. Составлена ландшафтная карта Прикрымского сектора Черного моря, демонстрирующая классы подводных геохимических ландшафтов. Выделены виды ландшафтов для континентального склона Черного моря.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *аквальные ландшафты, класс геохимических ландшафтов, пески, ракушечники, илы, алевриты, пелиты, геохимические, гидробиологические, геоморфологические и геологические условия формирования*

doi:10.22449/2413-5577-2018-2-13-21

Аквальные ландшафты в общем, а глубоководные – в частности, являются малоизученным, но очень важным объектом ландшафтоведения. Для акватории Черного моря, глубинные воды которого заражены сероводородом, а биотическая составляющая представлена своеобразными компонентами, вопрос о существовании глубоководных ландшафтов в классическом пятикомпонентном виде для некоторых исследователей вообще является спорным.

Исходя из представлений об аквальных ландшафтах, как о «каскадных разнопорядковых системах» [1, 2], звенья которых располагаются в ряду от простых (катен – приемников миграционных потоков с элементарных водосборов) до самых сложных – ландшафтно-геохимических арен, принимающих весь твердый и растворенный сток с континентов (ложе морской или океанической впадины), ландшафты шельфа и глубоководной области Черного моря составляют своеобразное переходное звено от ландшафтных биологически высокопродуктивных и среднепродуктивных биосистем шельфа к ранее считавшимся практически безжизненным системам глубоководного ложа. Данные последних исследований Черноморской впадины показывают, что «...понятие «азойность» неприменимо к сероводородной зоне Черного моря. В этой зоне жизнь многообразна и многочисленна» [3], однако формы ее проявления носят специфический характер. Таким образом, континентальный склон Черного моря, как участок географической поверхности Земли, в полной мере содержит все необходимые и достаточные компоненты аквальных ландшафтных комплексов.

В основе выделения ландшафтов лежат, прежде всего, геоструктурные, геоморфологические и геодинамические особенности морского дна [4], создающие, как отмечал В.А.Алексеевко, необходимые специфические «гео-

© А.А.Пасынков, Л.А.Пасынкова, 2018

морфологические условия» и «почвоподстилающие коры выветривания» для развития определенных разностей донных отложений [5].

Аквальные ландшафты разделяются на природные и техногенные; природные ландшафты, в свою очередь – на внутриконтинентальные (моря) и океанические. Этому уровню соответствуют аквальные ландшафты Черного моря, а применительно к целям настоящего исследования – природные аквальные ландшафты шельфа и континентального склона Черного моря.

Разделение подводных ландшафтов по биологическим признакам осуществляется по биомассе и ежегодной продукции, определяющейся видовым составом растительных сообществ (низкопродуктивные, среднепродуктивные, высокопродуктивные).

Высокопродуктивные ландшафты тяготеют к прибрежной зоне, фитопланктон представлен солоновато-водными и солоновато-морскими сине-зелеными и диатомовыми водорослями с биомассой $0,4 - 2,0 \text{ г/м}^3$. Среднепродуктивные ландшафты занимают центральную и западную часть района исследований, где развиты солоновато-морские и морские виды сине-зеленых и диатомовых водорослей. Биомасса планктона составляет $0,2 - 0,4 \text{ г/м}^3$. В центральной и восточной областях шельфа развита филофора, биомасса которой равна $1,5 - 12 \text{ кг/м}^3$.

Для глубоководных областей, где биологические компоненты представлены разнообразными мейобентосными организмами и бактериями, эти критерии, безусловно, носят специфический характер. Пищевой базой существования биоты на континентальном склоне, в большей мере, являются не растительные сообщества, а растворенные в морской воде органические вещества, отмерший планктон и химические элементы. С этой точки зрения (на данном этапе биологических исследований) трудно судить о продуктивности или даже достаточности биомассы и видового состава сообществ в привычных для специалистов категориях.

С другой стороны, сам факт существования биоты, хотя и представленной в необычных формах, позволяет высказать суждение о наличии определенной продуктивности ландшафтов, но определение ее степени является делом будущего. Разделение же глубоководных ландшафтов по продуктивности планктонных сообществ на среднепродуктивные (континентальный склон) и низкопродуктивные (центральная котловина), предложенное А.Д.Хованским [6], представляется спорным. Функционирование экосистемы планктонных сообществ ограничивается кислородным слоем; на континентальный склон и, тем более, в область центральной котловины планктонные сообщества попадают в виде «дождя трупов» и в данном случае мы можем говорить только о масштабах накоплений отмерших органических остатков на дне склона или на дне центральной котловины. Вместе с тем, и этот критерий не будет показателен, так как и в объемах вод, расположенных и в области континентального склона, и над центральной котловиной, планктон находится в постоянном перемешивании и его биомасса практически одинакова. Кроме этого, в силу специфического гидрофизического (наличие пикноклина) и температурного режима вод происходит постоянное (сезонное) изменение условий органического осадконакопления; а также существует не только вертикальное, но и горизонтальное перемещение отмер-

ших органических остатков по латерали.

На данном уровне исследований предлагается выделить бентосные ландшафты континентального склона Черного моря, где наблюдается развитие анаэробных бактерий.

Совокупность элементарных ландшафтов на местности с однородным рельефом и единой историей формирования образует геохимический ряд элементарных ландшафтов или по Б.Б.Полынову – геохимический ландшафт [7]. При мелкомасштабном (1:500000) ландшафтно-геохимическом районировании (дифференциации) территорий учитывались следующие факторы:

- структурно-металлогеническая однородность;
- орографическое единство;
- состав и физико-механические свойства природных вод;
- характер почвообразовательных процессов.

Результаты морских экспедиционных работ, выполненных ранее на НИС «Михаил Ломоносов», «Киев», «Профессор Водяницкий», а также в ходе мониторинговых геоэкологических исследований для ГАК «Черноморнефтегаз», позволили составить «Карту природных комплексов и видов геохимических ландшафтов Прикрымского сектора Черного моря» (рис.1).

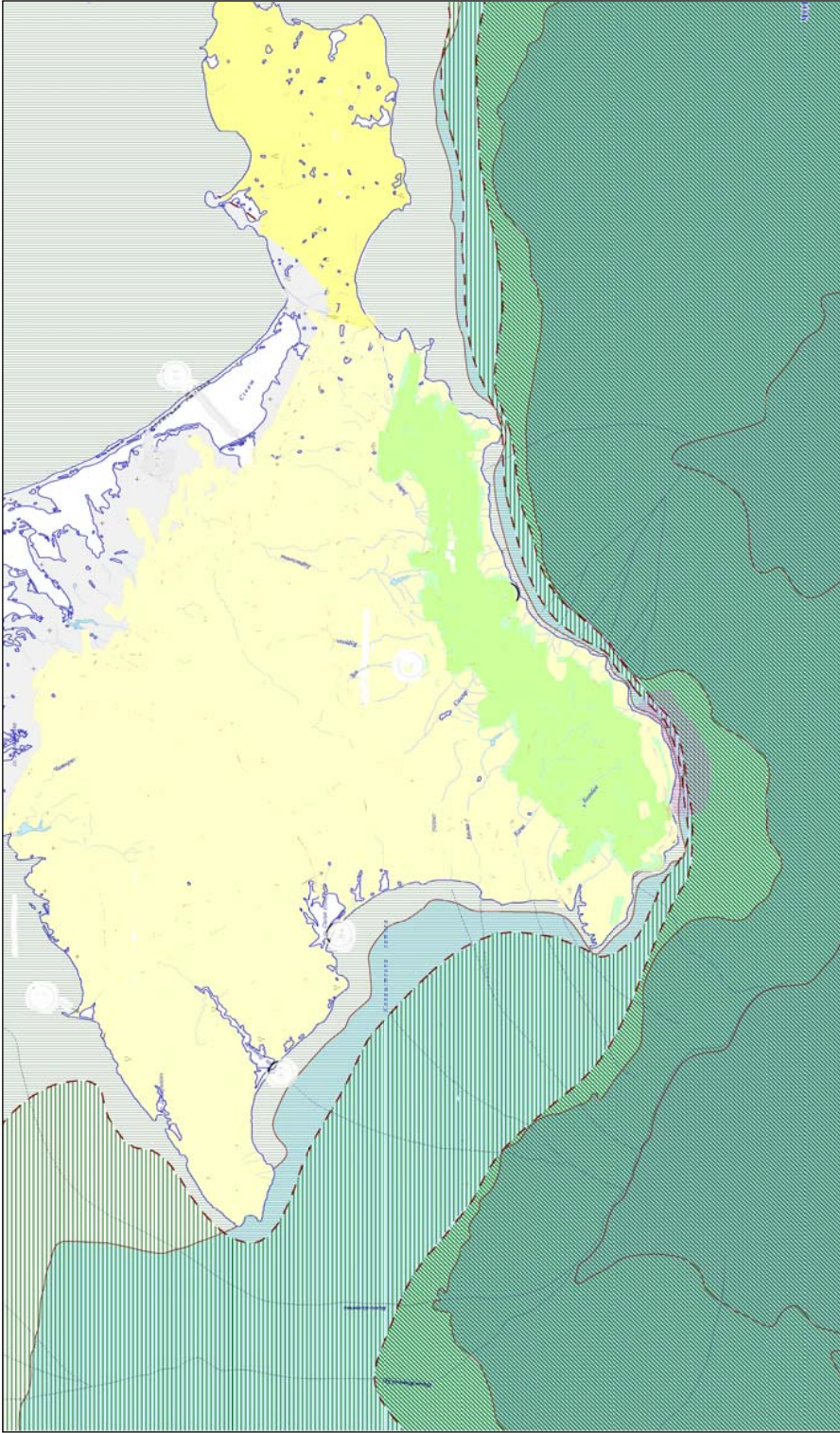
Воды Черного моря относятся к типу хлоридных, натриево-магниевых.

Кислородные трансаквальные ландшафты шельфа на слабоизвестковых и известковых песках и на ракушняках находятся в прибрежной зоне и характеризуются высокой продуктивностью органического вещества, активным гидродинамическим режимом, окислительной обстановкой в воде и осадках. Перемешивание вод способствует насыщению их кислородом. Это воды с повышенным содержанием Mn, Fe, Ni и пониженным – Mo. Мелкие фракции материала находятся во взвешенном состоянии и выносятся в центральные глубоководные районы. Во взвесах повышенные содержания Zn, Pb, Cu.

Класс геохимических ландшафтов донных осадков континентального склона: щелочные и сильно щелочные ландшафты, развивающиеся в условиях сероводородного заражения; типоморфные элементы $Cl^-Na^+-Ca^{2+}$, формуле химического состава соответствует ряд элементов накопления: Ti, Fe, P, $C_{орг.}$, N, S, Zr, Be, Ni, Mo, Se, U, Cu, Ca, CO_3^{2-} и элементов выноса B, Zn, W, V, H_2S для илов алеврито-пелитовых, карбонатных, песчаников, песков и магматических пород. Для илов алевритовых и песков типоморфными элементами являются Cl^-Na^+ (Cl^-Mg^{2+}); формуле химического состава соответствует ряд элементов накопления Ca, B, NH_4^+ , Fe, As, J, Br, V, N, S, Mn, Na, Li, Cz, HCO_3^- и элементов выноса H_2S , CO_2 , CH_4 (табл.1).

Значения pH морских вод изменяется от 8,33 – 8,40 в поверхностных водах до 7,55 – 7,82 в придонных. Эти показатели (в разрезе: донные осадки, придонные и поверхностные воды) увеличиваются снизу-вверх, что объясняется повышением общей минерализации придонного слоя и самих осадков, а также поступлением отжатых поровых вод из донных осадков в придонные воды. Как было установлено ранее, изменение этих условий связано в поверхностном слое осадков также и с мутьевыми потоками.

Обобщенные геохимические ассоциации глубоководных ландшафтных компонентов не отличаются разнообразием, ландшафты функционируют в условиях резко восстановительной среды и сероводородного заражения; это



Р и с . 1 . Карта природных комплексов и видов геохимических ландшафтов Прикрымского сектора Черного моря.

Условные обозначения:

природные комплексы геохимических ландшафтов



кислородные трансаквальные и трансаккумулятивные ландшафты мелкого моря на песках с ракушечником, ракушечниках, алевроитовых илах с ракушечником



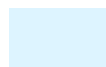
кислородные трансаккумулятивные ландшафты шельфа на алевроитовых и пелитовых илах с ракушечником, изредка на ракушечниках



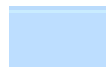
кислородно-сероводородные трансаккумулятивные и аккумулятивные ландшафты внутренней бровки шельфа, континентального склона и глубоководного ложа Черного моря на кокколитовых и сапропелевых илах

виды ландшафтов

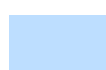
абразионно-аккумулятивная континентальная морская равнина мелкое море, шельф с локальными понижениями останцовыми поднятиями:



– в зоне активного волнового влияния



– в зоне пассивного волнового влияния



континентальный склон Черного моря – сильно расчлененная поверхность с развитием эрозионно-оползневых и суспензионных потоков (зона неволновой аккумуляции)



глубоководная предельная равнина неволновой аккумуляции ложа Черного моря

Т а б л и ц а 1. Среднее содержание элементов в донных отложениях северо-западной части Черного моря ($n \times 10^{-3} \%$).

ландшафты	Ti	Mn	V	Ni	Cu	Pb
высокопродуктивные кислородные трансаквальные на известковых песках	45	33	1,3	0,3	0,2	
среднепродуктивные кислородные трансаквальные на ракушнях	40	51	1,5	0,5	0,3	0,2
среднепродуктивные кислородно-глеевые трансаккумулятивные на ракушнях	24	71	2,7	2,3	3,0	0,7
среднепродуктивные филофорные кислородно-глеевые трансаккумулятивные на ракушнях	30	93	3,3	2,9	3,4	0,7
высокопродуктивные кислородно-сероводородные аккумулятивные на слабоизвестковых мелкоалевритовых илах	210	91	9,1	4,1	7,4	2,7
среднепродуктивные кислородно-сероводородные аккумулятивные на слабоизвестковых мелкоалевритовых илах	320	53	8,7	3,4	4,3	1,0
высокопродуктивные кислородно-сероводородные дельтово-аккумулятивные на слабоизвестковых мелкоалевритовых илах	310	152	11	8,8	14,5	8,0

щелочные и сильнощелочные ландшафты с $\text{pH} = 7,55 - 7,83$ и Eh близким к -200 мВ. Типоморфными элементами для них являются Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} .

Глубоководные донные осадки формируются в сероводородных условиях и представлены различными лито-геохимическими разновидностями: минеральными (терригенно-хемогенные, хемогенно-терригенные, магматические) и органоминеральными (терригенно-биохемогенные, биохемогенные). По этим признакам ландшафты континентального склона относятся к сероводородно-восстановительным. Для области континентального склона морские воды Черного моря относятся к типу соленых сероводородных, где сероводород находится в виде свободного и растворенного газов, а также в диссоциированной форме. Воды нейтральные или слабощелочные ($\text{pH} = 6,9 - 8,4$). При существующем равновесии ($\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}^+ + \text{HS}^- \rightarrow \text{S}^{2-} + \text{H}^+$) в нейтральных и слабощелочных морских водах преобладает HS^- . Основная роль в регенерации сероводорода принадлежит сульфатредуцирующим бактериям, разлагающим органические вещества и сульфаты с выделением углекислого газа и сероводорода.

Аквальные ландшафты в зависимости от геоморфологических условий, определяющих механическую миграцию элементов и их соединений или их аккумуляцию, подразделяются на ландшафты трансэрозионные – для участков размыва берегов, трансаквальные – на участках преобладания процессов механического переноса материала и трансаккумулятивные – для участков с отложениями механически переносимого материала.

Для континентального склона предлагается выделить следующие виды ландшафтов: подводно-эрозионные, подводно-эрозионно-аккумулятивные и аккумулятивные. Разнообразные микро-, мезо- и макроформ подводного рельефа учитываются при выделении более дробных таксонов ландшафтной дифференциации.

Разделение аквальных ландшафтов Черного моря по геохимическим особенностям и литологическим разностям донных осадков носит специфический характер в связи с его двухслойным строением водной толщи. В донных отложениях накапливается грубозернистый материал. Содержание пелита в осадках составляет до 8 %, органического вещества 0,1 – 0,3 %. В песках и ракушечниках содержания элементов меньше, чем в осадках мелких фракций. Воды прибрежных зон геохимически активны и отличаются повышенным содержанием растворенных форм Fe, Mn, Ni, Cu, Pb, Zn (табл.2).

Т а б л и ц а 2. Среднее содержание элементов в поверхностных (числитель) и придонных (знаменатель) водах (северо-западная часть Черного моря).

ландшафты	Fe	Mn	Ni	Cu	Mo
кислородные трансаквальные на песках и ракушнях	<u>10,6</u>	<u>5,3</u>	<u>3,8</u>	<u>9,8</u>	<u>1,6</u>
	9,1	4,6	3,8	7,5	1,6
кислородно-глеевые трансаккумулятивные на ракушнях	<u>8,7</u>	<u>2,2</u>	<u>2,8</u>	<u>9,8</u>	<u>1,6</u>
	7,4	4,1	1,9	6,9	1,9
кислородно-сероводородный аккумулятивный на мелкоалевритовых илах	<u>10,6</u>	<u>3,5</u>	<u>4,8</u>	<u>12,0</u>	<u>2,5</u>
	12,9	6,4	4,9	10,0	3,6

В центральной части шельфа находятся кислородно-глеевые трансаккумулятивные ландшафты на ракушнях. Здесь происходит осаждение части взвешенного материала с увеличением содержания пелита до 20 % и органического вещества до 1 – 1,5 %. В водной толще и в верхнем горизонте осадков преобладает окислительная обстановка, ниже – восстановительная глеевая.

В ландшафтах прослеживается связь между их пространственным положением, накоплением в осадках глинистой фракции и микроэлементов. В кислородно-глеевых ландшафтах уменьшается среднее содержание Mn, Ni, Fe и увеличивается Mo. В придонном горизонте воды концентрация Ni и Fe еще ниже, а Mn – в 2 раза выше, чем в поверхностном. В ракушнях высокопродуктивных кислородно-глеевых ландшафтов, расположенных ближе к берегу, отмечаются минимальные содержания глинистой фракции (6 %) и пониженные Mn, Ni, Cu. В аналогичном среднепродуктивном ландшафте центральной части моря содержание пелита в ракушнях увеличивается до 20 %, а концентрация Mn, Ni, Cu возрастает в 1,5 – 3 раза.

В центральной части шельфа содержания Ni, Co, Mo увеличиваются в 10 – 20, Cu – в 5,5, Pb – в 1,4 раза, что приводит к обогащению донных осадков.

При изменении окислительной обстановки на восстановительную глеевую реакционно способные формы элементов переходят их донных отложений в иловые растворы. По сравнению с придонной водой в нем в 2 – 30 раз больше содержится Mo, Ni, Mn, Cu. Но из-за наличия окисленного слоя элементы (исключая марганец) из осадков в донные воды не поступают.

На внешнем крае шельфа и в Каламитском заливе осадки представлены глинистыми илами, а содержание органических веществ в них увеличивается до 1,5 – 2 %, распространены кислородно-сероводородные слабо восстановленные ландшафты с определенной окислительно-восстановительной зональностью. В воде и верхних горизонтах илов (0,5 – 2 см) развита кислородная обстановка. Здесь Fe и Mn находятся в виде гидроокислов. В нижележащем горизонте (20 – 30 см) преобладает глеевая обстановка и далее – илы в сероводородной обстановке с интенсивными процессами сульфатредукции. Здесь образуются сульфиды железа и других халькофильных элементов. Mn, Fe и P, перемещаясь вверх, концентрируются в окисленных илах, где вместе с ними накапливаются Ni, Co, Mo, V.

Fe, Mo, Co, Ni мигрируют в сероводородные илы и образуют там сульфиды или входят в пирит.

При низком содержании органического вещества и слабой интенсивности окислительно-восстановительных процессов в кислородных илах отмечается слабое накопление наиболее подвижных элементов – марганца, фосфора, железа. При увеличении количества органического вещества и степени восстановительных процессов в кислородных илах образуются железомарганцевые конкреции.

В кислородно-сероводородных слабовосстановленных аккумулятивных ландшафтах на слабоизвестковых глинистых илах в верхнем окисленном слое в гидроокислах накапливаются Fe, Mn, P и микроэлементы. В сероводородных илах в сульфидах концентрируются Fe, Ni, Co, Mo. Глеевые илы

являются зоной выщелачивания. Из водной толщи осаждаются тонкодисперсные взвеси и содержащиеся в них элементы. Поток элементов из донных осадков задерживается верхним окисленным слоем илов.

Кислородно-сероводородные аккумулятивные ландшафты на слабоизвестковых мелкоалевритовых илах распространены в понижениях Днепровского желоба, Каркинитского залива. Эти ландшафты являются аккумуляторами тонкодисперсных взвесей и органического вещества. Концентрация пелита здесь увеличивается до 44 – 52 %, а $C_{\text{орг}}$ – до 2 – 3 %. Содержание кислорода в придонных водах снижается до 0, Eh верхнего горизонта илов отрицательный, до – 100 – 200 мВ. В водной толще преобладает окислительная обстановка, а в осадках – восстановительная сероводородная. В иловых водах по сравнению с придонной морской водой в 3 – 25 раз повышены содержания Fe, Ni, Mo, Mn, Cu.

Для континентального склона литологическое разнообразие донных осадков сводится к следующим основным типам: илы, пески, органогенные осадки, алевриты, пелиты, глины, сапропели, флиш, мергели, известняки, песчаники, гидротроилиты, метаморфические и магматические породы Ломоносовского вулканического массива. Эта дифференциация находит свое отражение в наименовании видов ландшафтов, определяющихся по приуроченности к конкретным литолого-петрографическим разностям донных осадков или их сочетаниям, а также к определенным морфоструктурам и морфоскульптурам.

Выводы:

– ландшафты шельфа и глубоководной области Черного моря составляют своеобразное переходное звено от ландшафтных биологически высокопродуктивных и среднепродуктивных биосистем шельфа к ранее считавшимся практически безжизненным системам глубоководной области;

– кислородные трансаквальные ландшафты прибрежной зоны шельфа характеризуются высокой продуктивностью органического вещества, активным гидродинамическим режимом, окислительной обстановкой в воде и осадках. Мелкие фракции материала находятся во взвешенном состоянии и выносятся в центральные глубоководные районы. Во взвесах повышенные содержания Zn, Pb, Cu;

– ландшафты донных осадков континентального склона: щелочные и сильно щелочные ландшафты, развивающиеся в условиях сероводородного заражения; типоморфные элементы $\text{Cl}^- \text{Na}^+ \text{Ca}^{2+}$ для илов алеврито-пелитовых, карбонатных, песчаников, песков и магматических пород, а для илов алевритовых и песков – $\text{Cl}^- \text{Na}^+ (\text{Cl}^- \text{Mg}^{2+})$;

– аквальные ландшафты в зависимости от геоморфологических условий подразделяются на ландшафты трансэрозионные – для участков размыва берегов, трансаквальные – на участках преобладания процессов механического переноса материала и трансаккумулятивные – для участков с отложениями механически переносимого материала;

– для континентального склона выделяются следующие виды ландшафтов: подводно-эрозионные, подводно-эрозионно-аккумулятивные и аккумулятивные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Yanko-Hombach V., Schnyukov E., Pasyнков A., etc.* Geomorphological factors and marine conditions of the Azov-Black Sea basin and coastal characteristics as they determine prospecting for seabed prehistoric sites on the continental shelf / Submerged landscapes of the European continental shelf: Quaternary paleoenvironments.– John Wiley @ Sons Ltd., 2017.– P.431-479.
2. *Пасынкова Л.А., Пасынкова О.А.* Развитие представлений о глубоководных ландшафтах Черного моря / Фізична географія та геоморфологія.– Київ: ВГЛ Обрії, 2005.– С.225-232.
3. *Сергеева Н.Г.* Биологическое разнообразие бентоса донных осадков сероводородной зоны Черного моря: распределение по глубинам, стратификация в толще грунта / Геология Черного и Азовского морей.– Киев, 2000.– С.314-330.
4. *Пасынкова Л.А.* Геологические факторы формирования глубоководных ландшафтов континентального склона Черного моря: Автореф. ... дис. канд. геол. наук.– Киев: ОМГОР ННПМ Украины, 2003.– 27 с.
5. *Алексеев В.А., Хованский А.Д.* Основы выделения элементарных ландшафтов рек и водохранилищ // Изв. СКНЦВШ.– 1983.– № 4.– С.17-21.
6. *Хованский А.Д., Усенко В.П., Митропольский А.Ю.* Ландшафтно-геохимическое районирование водных объектов системы «река-море».– Киев: Изд-во ИГН, 1986.– 58 с.
7. *Полынов Б.Б.* Геохимические ландшафты / Вопросы минералогии, геохимии и петрографии.– М.-Л., 1946.– С.171-182.

Материал поступил в редакцию 29.04.2018 г.

A. A. Pasyнков, L. A. Pasynkova

UNDERWATER GEOCHEMICAL LANDSCAPES ON THE CRIMEAN SECTOR OF THE BLACK SEA

Parameters of underwater geochemical landscapes of the Crimean sector of the Black Sea are considered. According to the data of marine expeditions the geochemical, hydrobiological, geomorphological and geological conditions of their release on the Black Sea shelf and continental slope are given. The landscape map of the Crimean sector of the Black Sea showing the geochemical classes of underwater landscapes are composed. The types of landscapes on the Black Sea continental slope are made out.

KEYWORDS: aquatic landscapes, the class of geochemical landscapes, sands, shell rock, silts, siltstone, pelite, geochemical, hydrological, geomorphological and geological conditions