

Каюкова Е.П. Край соляных озер. В сб. Многогранная геология. Выпуск III / Под ред. В.В. Гавриленко – СПб: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», ГБНОУ «Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных», 2015. С. 309-318.

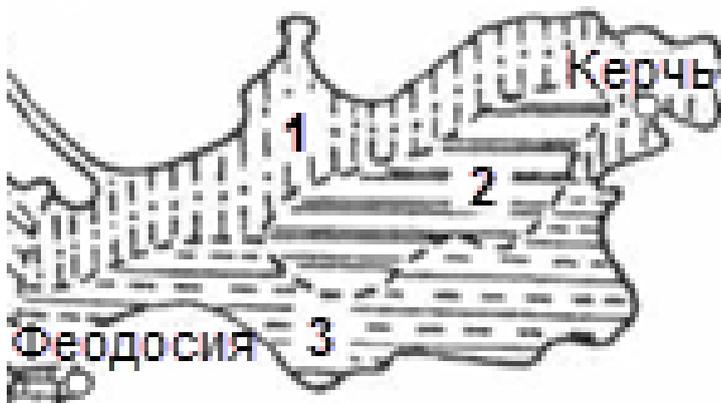
На восточной окраине Крымского полуострова расположился удивительный по своим природным особенностям чрезвычайно привлекательный для естественнонаучных экскурсий и отдыха Керченский полуостров, обладающий уникальным рекреационным потенциалом. Площадь Керченского полуострова около 3255 кв. км, примерно 12% всей территории Крыма (в административном отношении - Ленинский район Республики Крым). Это обособленный от Крыма район как в общегеографическом смысле и климатическом отношении, так и по своим геолого-гидрогеологическим условиям.

Климат Керченского полуострова умеренно-континентальный с резкими колебаниями температуры. Лето жаркое с частыми засухами, зима часто бесснежная с резкими похолоданиями и оттепелями. Осадков выпадает не более 450 мм в год (рис. 1). Годовая суммарная солнечная радиация более 5200 МДж/м² [1].



Рис. 1. Средняя температура воздуха в июле и январе (°C) и среднегодовое количество осадков (мм) на Керченском полуострове [1].

На рисунке 2 показаны основные климатические районы Керченского полуострова. В прибрежной полосе существуют мягкие мезоклиматы. Полуострову свойственны сильные ветра северо-восточных направлений. Коэффициент увлажнения территории (отношение суммы атмосферных осадков к испаряемости) равен 0,49.



1. район очень засушливый, умеренно жаркий с мягкой зимой;
2. район засушливый, умеренно жаркий с мягкой зимой;
3. район очень засушливый, умеренно жаркий с очень мягкой зимой.

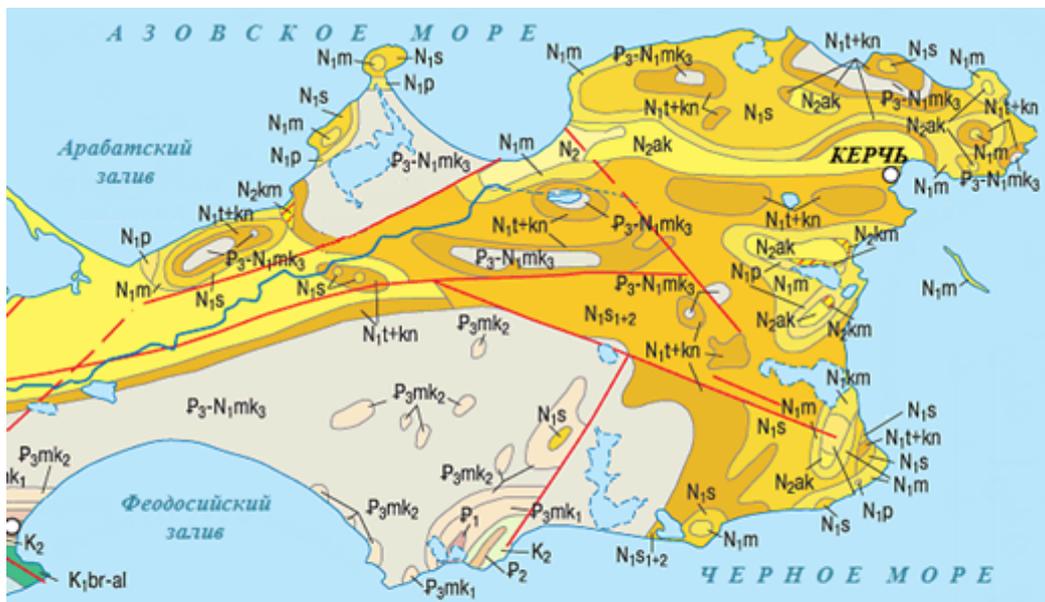
Рис. 2. Климатические районы Керченского полуострова

Основные особенности гидрогеологического строения Керченского полуострова обусловлены тем, что на мощной толще практически безводных майкопских глин олигоцена и нижнего миоцена, играющих роль регионального водоупора, спорадически

залегают переслаивающиеся с глинами водоносные отложения неогенового периода (понт, меотис, сармат, тортон), представленные песками, песчаниками и известняками.

Керченский полуостров имеет чрезвычайно скудные ресурсы подземных вод. Меотический водоносный комплекс основной источник хозяйственно-питьевого водоснабжения региона. Отложения меотиса повсеместно не распространены и связаны с мелкими, приуроченными к синклиналям, мульдами. Водовмещающие породы представлены пористыми известняками-ракушечниками, мшанковыми известняками и кварцевыми песчаниками.

Майкопская серия глин (региональный водоупорный комплекс олигоцен-нижнемиоценового возраста) занимает значительные пространства полуострова (рис. 3). Мощность серии достигает 3–4 км, породы представлены, главным образом, бескарбонатными, часто загипсованными, глинами темного и бурого цвета, с мощным горизонтом песчаников в нижней части. Это зона замедленного и весьма замедленного водообмена. Зона активного водообмена на Керченском полуострове практически отсутствует, что связано с литологией пород, геологическими условиями полуострова и недостатком увлажнения. Ядра крупнейших антиклиналей региона слагают майкопские глины, на юго-западе полуострова данная водоупорная серия выходит на дневную поверхность.



Условные обозначения:

НЕОГЕН	ПЛИОЦЕН	N₂	Пески, гравий, конгломераты	ПАЛЕОГЕН	ОЛИГОЦЕН	P_{3-N1mk3}	Глины, алевриты, пески			
		N_{2ak}	Пески, алевриты, глины			P_{3mk2}	Глины, алевриты, пески			
		N_{2km}	Пески, алевриты, глины			P_{3mk1}	Глины, алевриты, песчаники			
	МИОЦЕН	N_{1p}	Известняки, мергели, глины, пески		ЭОЦЕН	P₂	Пески, алевриты, глины, мергели			
		N_{1m}	Глины, пески, песчаники, известняки			МЕЛ	ВЕРХНИЙ	K₂	Аргиллиты, мергели, песчаники, известняки	
		N_{1s}	Нерасчлененные – мергели, глины, пески					НИЖНИЙ	K_{1br-al}	Нерасчлененные – глины с прослойми песчаников, гравелитов
		N_{1s1+2}	Глины, пески, известняки							
		N_{1t+kn}	Глины, пески, песчаники, известняки							

Рис. 3. Геологическая карта Керченского полуострова [1]

Согласно гидрогеологическому районированию холмисто-грядовые северная и северо-восточная части Керченского полуострова принадлежат крупной гидрогеологической провинции – Керченско-Таманской системе малых артезианских бассейнов (понт-меотис). Юго-западная равнинная часть Керченского полуострова образует самостоятельную гидрогеологическую область, входящую в состав гидрогеологической провинции складчатой системы Горного Крыма. Гидрогеологические провинции очерчиваются Парпачским гребнем, который проходит с северо-запада на юго-восток через Керченский полуостров и представляет собой вал моноклинально залегающих известняков сармата и среднего миоцена с высотными отметками от 80 до 150 м над ур.м.

Парпачский гребень начинается у села Владиславовка и, проходя через села Ячменное и Марфовка, заканчивается в южной части полуострова горой Опук (183,7 м над ур.м.), где расположен уникальный природный Заповедник, включающий плато горы Опук, Кояшское озеро и их окрестности.

Гидрография Керченского полуострова представлена овражно-балочной сетью, не связанной с особенностями геологического строения территории. Средний коэффициент густоты речной сети на Керченском полуострове составляет 0,15–0,28 км/км² [1]. Реки с постоянным поверхностным стоком отсутствуют вследствие выпадения малого количества атмосферных осадков. Главный водораздел полуострова проходит по Парпачскому гребню. Для решения водных проблем территории построено семь водохранилищ, общим объемом 97 млн.м³ [2].

До присоединения Крыма к России в результате событий 16 марта 2014 г. заполнение водохранилищ осуществлялось водами Северо-Крымского канала, который со времени ввода в действие был основной водной артерией района. На современном этапе (в связи со сложной политической ситуацией между Россией и Украиной) поступление воды по Северо-Крымскому каналу прекращено, в связи с чем проблема с водными ресурсами на Керченском полуострове стоит крайне остро.

Характерная черта Керченского полуострова - грязевой вулканизм, который является показателем современной тектонической активности территории. Грязевулканические сопки, как действующие, так и прекратившие свою деятельность в историческом прошлом, широко развиты на полуострове (всего около 100 сопки), причем большей активностью отличается северо-восточная часть полуострова. Очаги грязевых вулканов приурочены, главным образом, к заполненным сопочной брекчией антиклинальным структурам - вдавленным синклиналям, возникшим вследствие проседания пород (как *post factum* после извержении древних грязевых вулканов).. Расцвет грязевулканической деятельности в основном приходится на неоген [3].

В прибрежной полосе Керченского полуострова существует большое количество соляных озер морского соленакопления, некогда имевших непосредственную связь с морем. Уровень воды в озерах либо немного ниже, либо находится на уровне моря. Питание озер осуществляется за счет атмосферных осадков, подземных вод и за счет постоянной фильтрации морской воды через пересыпи (рис. 4). В силу своей высокой солености зимой озера никогда не замерзают, большинство из них – самосадочные. Крымские соляные промыслы издавна пользовались большой известностью, розовая крымская соль высоко ценилась на мировом рынке. По разнообразию и качеству ресурсов соляные озера делают Крым одним из уникальнейших уголков Земного шара.

В юго-западной части Керченского полуострова вдали от морского побережья имеются небольшие соляные озера континентального соленакопления (коли), приуроченные к понижениям рельефа в областях развития глинистых отложений (рис. 4). Такие озера бессточны, питаются они, главным образом, атмосферными осадками и притоками подземных вод. Коли часто пересыхают, образуя солончаки.



Рис. 4. Соляные озера Керченского полуострова

По происхождению озерных котловин соляные озера делятся на три группы [4]: морского происхождения, некогда имевшие связь с морем (устьевые, лагунные); континентального происхождения - эрозионные, сопочные (на месте грязевых сопок), дефляционные (котловины выдувания), суффозионные (связанные с процессами почвообразования «степные блюдца») и водоемы смешанного происхождения.

Часто трудно провести границу между котловинами континентального и морского происхождения - тайна их образования таится в глубине веков.

Рассолы соляных озер (рапа) представляют собой водные растворы в той или иной степени насыщенные солями. Молекулы солей в силу электролитической диссоциации присутствуют в виде ионов: катионов (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и анионов (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^-). Также в рапе озер присутствуют и другие ионы, некоторые из них могут иметь промышленное значение (бром, бор, калий).

Гидрохимические процессы в озерах стремятся к равновесным и определяются взаимодействием состава рапы с окружающей средой. Под действием глобальных изменений климата и сезонов года минерализация и состав рапы озер подвергаются непрерывным изменениям (постоянным, периодическим и циклическим), которые могут привести к существенной смене состава озерной рапы за счет катионного обмена, различных реакций между породами материка и водой и пр.). Академик Н.С. Курнаков назвал эти явления *процессами метаморфизации рассолов* и предложил коэффициент, характеризующий состояние рапы: $K_m = \text{MgSO}_4 / \text{MgCl}_2$ [5].

В результате процессов метаморфизации происходит труднообратимое изменение состава рассольных вод и образование малорастворимых соединений - продуктов реакций метаморфизации. Н.С. Курнаков разделил природные рассолы морского происхождения на два больших класса:

I класс. Соляные озера, образованные при концентрировании морской воды, $K_m > 0$ (гипотетические соли: NaCl , MgCl_2 , MgSO_4 , Na_2SO_4 и CaSO_4);

II класс. Соляные озера сильно метаморфизованные за счет уменьшения SO_4^{2-} (до полного отсутствия) и Mg^{2+} , $K_m = 0$ (гипотетические соли: NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , и CaSO_4).

Озера с рассолами I класса имеют преимущественно морское происхождение, а с рассолами II класса - материковое. Для вод Черного моря и озер, питающихся, главным образом, за счет морских вод, коэффициент метаморфизации K_m варьирует в пределах 0,4-0,7. Для озер, в которых континентальная составляющая солевого питания является преобладающей, коэффициент метаморфизации постепенно уменьшается и может доходить до нуля. При дальнейшей метаморфизации с ростом в рассоле ионов Ca^{2+} используют коэффициент $K = \text{CaCl}_2 / \text{MgCl}_2$.

В дальнейшем М.Г. Валяшко развил теорию метаморфизации рассолов [6], предложив свою генетическую классификацию соляных озер:

1 тип. Карбонатные (содовые);

2 тип. Сульфатные (горько-соленые), I класс (по Курнакову);

3 тип. Хлоридные (соленые), II класс (по Курнакову).

Эти типы определяются взаимной комбинацией главных анионов (CO_3^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^-) с главными катионами (Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+). Принадлежность озерного раствора к одному из типов определяет характер физико-химических процессов.

Сульфатный тип делится на два подтипа: сульфатно-натриевый и сульфатно-магниевый (или хлор-магниевый). Кроме того, для каждого типа предложены коэффициенты, определяющие состояние озера.

Для сульфатно-натриевого подтипа используется коэффициент $K_2 = \frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{MgSO}_4}$;

для сульфатно-магниевый подтипа (хлор-магниевый) - $K_m = \frac{\text{MgSO}_4}{\text{MgCl}_2}$.

В настоящий период жизни Земли наиболее многочисленная группа озер (в том числе Мировой океан) относятся к сульфатному типу с устойчивым равновесием натрия и магния и неустойчивым равновесием анионов, среди которых преобладают сульфатные ионы. При этом сульфатно-натриевый подтип может перейти в сульфатно-магниевый. В то же время простым концентрированием или разбавлением нельзя перейти из одного типа в другой. Только процессы метаморфизации приводят к превращению типов друг в друга.

В сухом климате метаморфизация ведет к потере раствором ионов CO_3^{2+} , SO_4^{2-} , т.е. изменяет состав рассола от карбонатного через сульфатный к хлоридному типу (прямой путь метаморфизации). При увлажнении климата этот процесс идет в обратном направлении, меняя состав от хлоридного через сульфатный к карбонатному типу (обратный путь метаморфизации) [4, 6]:



Рис. 5. Схема процессов метаморфизации

Соляные озера Керченского полуострова по химическому составу рапы делятся на два типа: рассолы озер морского генезиса и рассолы континентального соленакопления.

Для оценки степени метаморфизации в первом случае используют коэффициент $K = \frac{\text{MgSO}_4}{\text{MgCl}_2}$,

во втором - $K = \frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{MgSO}_4}$.

Озера континентального соленакопления представлены колями – Марфовка, Ачи, Карач. Накопление солей в этих озерах происходит за счет выщелачивания обогащенных сульфатами глин, из-за чего в рапе озер содержатся повышенные концентрации сульфатов.

В середине лета соляные озера Керченского полуострова обычно приобретают красно-розовую окраску. Красный цвет озерной рапы обусловлен массовым цветением зеленой водоросли *Dunaliella salina*, имеющей высокую внутриклеточную концентрацию β-каротина (рис. 6). Пик цветения приходится на жаркие месяцы лета. При садке галита одноклеточная *Dunaliella salina* включается в его кристаллическую решетку, образуя кристаллы нежно розового цвета, имеющие приятный фиалковый запах. Микроводоросль *Dunaliella salina* – основная пища соляного рачка *Artemia salina*, обитающего в рассольных водах озера. Соляных рачков можно наблюдать в прибойной волне рапы.



Рис. 6. Розовая рапа Кояшского соляного озера, соляной рачок *Artemia salina*

Таблица. Химический состав рапы некоторых соляных озер Керченского полуострова, лето 2013 г.

Название озера	Т°С рапы	рН	ρ	NO ₃	Br	Ј	CO ₃	HCO ₃	Cl	Na	Ж
			г/см ³	г/л	г/л	мг/л	г/л	г/л	г/л	г/л	г-экв/л
Озера морского соленакопления											
Аджиголь	33,3	8,2	1,092	0,5	н.о.	н.о.	0	0,8	74,5	2,6	0,6
Чокракское	н.о.	н.о.	1,200	1,1	н.о.	н.о.	0,2	0,9	98,4	73,0	0,9
Тобечикское восточная часть	34,6	9,2	1,233	0,9	1,9	24,1	0	0,9	159,5	98,3	1,1
Кояшское западная часть	34,8	7,9	1,219	1,0	2,2	25,4	0	0,4	180,2	108,0	0,9
Озера континентального соленакопления											
Ерофеевское	35,3	9,5	1,032	0,2	н.о.	н.о.	0	0,3	28,4	19,7	0,4
Ачи	31,1	9,8	1,020	0,11	0,14	2,6	0,05	0,2	14,2	11,9	0,1

Классификация М.Г. Валяшко дает возможность предсказывать состав выпадающих из рассолов солей. Так, сода может садиться только в озерах карбонатного типа. При концентрации рассолов сульфатного типа возможна садка мирабилита и тенардита. Наиболее обильная садка этих солей характерна для озер сульфатно-натриевого подтипа. В хлоридных озерах садочные соли представлены галитом и гипсом. Хлориды натрия могут присутствовать во всех трех типах минеральных озер и при концентрировании переходить в твердую фазу.

Для анализа процессов, протекающих в соляных озерах, обычно применяют диаграммы фазовых равновесий (между рассолами и твердыми солями). Широко известна равновесная диаграмма Иенеки для четырехкомпонентных взаимных систем (рис. 7):



На диаграмму наносятся фигуративные точки состава рассолов. При нанесении учитывается содержание четырех солей (NaCl, MgSO₄, MgCl₂, Na₂SO₄), содержания карбонатов не учитываются, в силу их малого содержания. На рисунке 7 приведена диаграмма рассолов сульфатного типа для соляных озер Керченского полуострова [7]. Для сравнения приведена фигуративная точка речной воды, которая приходится в поле кристаллизации астраханита.

Фигуративные точки рассолов соляных озер Керченского полуострова при 25° располагаются в полях кристаллизации галита, тенардита, астраханита. (рис. 7). При испарении рассолов озер морского соленакопления, после кристаллизации карбоната и сульфата кальция, происходит садка галита, а в озерах континентального соленакопления – садка тенардита. [7].

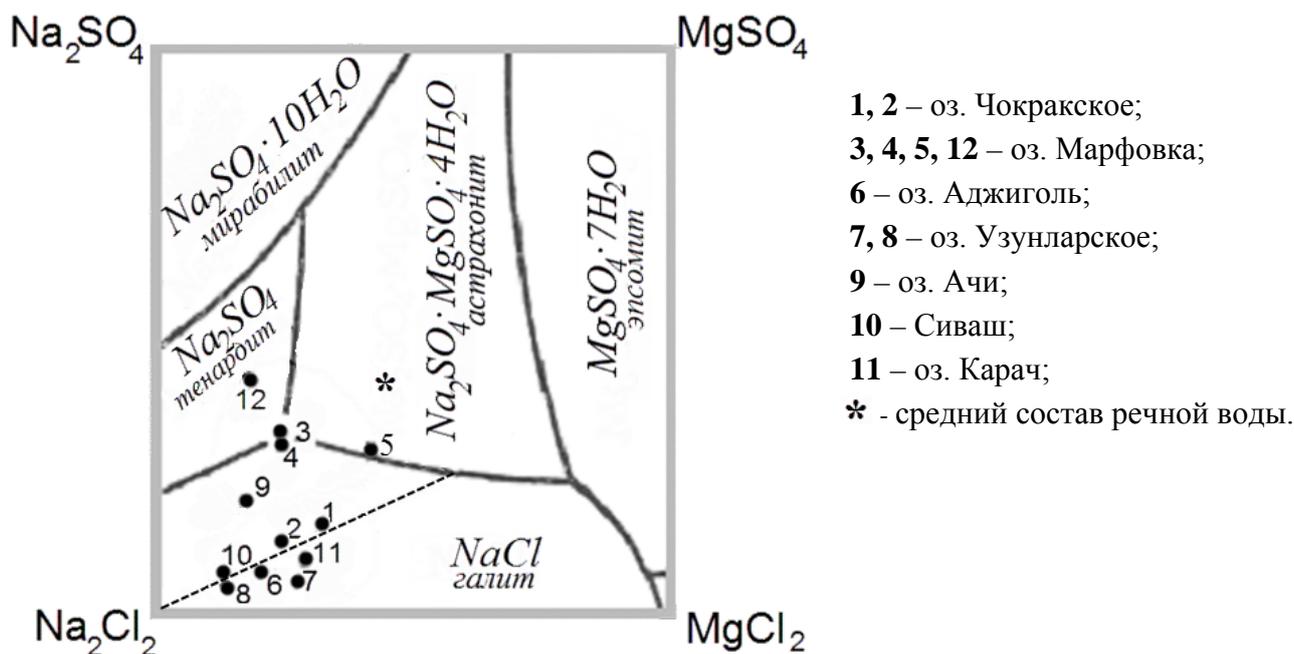


Рис. 7. Диаграмма растворимости взаимной системы $2\text{NaCl} + \text{MgSO}_4 \leftrightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ при 25° (по материалам [7])

Донные отложения минеральных озер - лечебные иловые грязи (или пелоиды от греческого *pelos* (глина, ил)) издавна используются для оздоровления и лечения ряда заболеваний, часто - в комплексе с рассолом (рапой). Тонкодисперсная структура, однородность, пластичность, гидрофильность, благоприятная консистенция в сочетании с высокой теплоемкостью и медленной теплоотдачей, а также наличие различных биологически активных химических соединений (продуктов жизнедеятельности специфической микрофлоры) позволяет применять пелоиды в нагретом состоянии в виде ванн и местных аппликаций для лечения.

Пелоиды, обладая высокими адсорбционными свойствами, способны глубоко проникать в кожу, усиливая кожный лимфо- и кровоток, при этом ускоряется обмен веществ во всех слоях кожи, а также усиливается регенерация клеток.

Требования, предъявляемые к качеству лечебных грязей, включают органолептические, физико-химические и санитарно-микробиологические показатели. Согласно принятым в России нормативным документам [8] в грязях соляных озер определяют тяжелые металлы (Hg, Pb, Zn, Cu, Cd), содержание сульфидов, органические вещества, радионуклиды и некоторые другие физико-химические показатели. Обычно тщательно исследуется гранулометрический состав, органолептические и санитарно-микробиологические показатели.

Керченский полуостров является уникальным объектом геолого-гидрогеологических экскурсий, на его территории можно проводить учебные занятия, вести мониторинговые научные исследования, можно также активно отдыхать и получать разного рода лечения за счет климатических, морских и грязевых ресурсов.

Автор выражает благодарность студентам СПбГУ, участвующим в опробовании соляных водоемов и проведении анализов – А.Г. Овсиенко и Л.В. Мордухай-Болтовской, а также сотруднику РГПУ им. Герцена М.В. Пузырку за помощь в измерении плотности озерной рапы.

Литература

1. *Атлас*. Автономная республика Крым. Ред. М.В.Багров, Л.Г.Руденко. Киев – Симферополь, 2003. 80 с.
2. *Олиферов А.Н., Тимченко З.В.* Реки и озёра Крыма. Симферополь: Доля, 2005. - 216 с.
3. Грязевые вулканы Керченско-Таманской области: Атлас / Шнюков Е.Ф. Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И. и др. – Киев: Наук. думка, 1986. – 152 с.
4. *Дзенс-Литовский А.И.* Соляные озера СССР и их минеральные богатства / А.И. Дзенс-Литовский. – Л. : Недра, Ленингр. отделение, 1968. – 119 с.
5. *Курнаков Н.С.* Метаморфизация рассолов Крымских соляных озёр. - Зап. Мин. общ. Т. 33, 67. 1897.
6. *Валяшко М.Г.* К познанию основных физико-химических закономерностей в развитии соляных озёр. ДАН СССР, т. XXIII,- № 7, 1939.
7. *Понизовский А.М.* Соляные ресурсы Крыма. - Симферополь: Крым, 1965. - 263 с.
8. *Адилов В.Б. и др.* Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации. Методические указания № 2000/34 по состоянию на 20.10.2006 (утв. Минздравом РФ от 31.03.2000) // URL: <http://russia.bestpravo.ru/fed2000/data06/tex20268.htm>.

Каюкова Елена Павловна окончила кафедру инженерной геологии ЛГУ в 1983 г. После окончания 10 лет работала во ВНИГРИ. Десять полевых сезонов - Крайний север, Якутия, Байкал, Сахалин. С 1993 г. по настоящее время ст.преподаватель кафедры гидрогеологии СПбГУ, с 1998 г. руководит гидрогеологической практикой в Крыму. Область интересов - региональная гидрогеология, гидрогеохимия, взаимодействие поверхностных и подземных вод, радиоактивность подземных вод, изотопы в гидрогеологии, гидрология, соляные озера, экологическая гидрогеология, качество подземных вод, экологическое образование