

ББК 26.32+26.35
УДК 551(234.86)

Геология Крыма: Ученые записки кафедры осадочной геологии.
Вып. 3 / Под ред. В. В. Аркадьева. - СПб.: издательство «ЛЕМА»,
2021. - 140 с.

ISBN 978-5-00105-601-0

Сборник включает статьи по палеонтологии мезозойских отложений Горного Крыма, литологии верхнего мела, о минеральных озерах Восточного Крыма и эколого-геохимических особенностях почв Опуцкого заповедника на юге Керченского полуострова. Две статьи посвящены истории Крымской учебной практики по геологическому картированию студентов Санкт-Петербургского государственного университета. Сборник предназначен для специалистов, изучающих геологию, гидрогеологию и экологию Крыма, и студентов, проходящих здесь учебную практику.

Geology of Crimea: Scientific Notes of the Department of
Sedimentary Geology. Issue 3 / Edited by V. V. Arkadiev. - Saint-
Petersburg, LEMA Publishing House, 2021. - 140 p.

The digest includes articles on the paleontology of the Mesozoic deposits of the Mountainous Crimea, the lithology of the Upper Cretaceous, the mineral lakes of the Eastern Crimea and the ecological and geochemical features of the soils of the Opuksky Reserve in the south of the Kerch Peninsula. Two articles are devoted to the history of the Crimean educational practice in geological mapping of students at St. Petersburg State University. The digest is intended for specialists studying the geology, hydrogeology, and ecology of the Crimea, and for students undergoing training here.

© Санкт-Петербургский государственный
университет, 2021

© Издательство «ЛЕМА», 2021

УДК 556.551; 551.468.4; 615.838.7

МИНЕРАЛЬНЫЕ ОЗЕРА ВОСТОЧНОГО КРЫМА КАК ОБЪЕКТЫ УЧЕБНО-НАУЧНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСКУРСИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

Каюкова Е. П., Котова И. К.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
epkayu@gmail.com, kotova_i@mail.ru*

Полуостров Крым – хорошо известный в России и за рубежом район, где проводят свои учебные и учебно-производственные практики многие высшие учебные заведения. Естественнонаучные экскурсии – важнейший элемент подготовки современных специалистов естественных специальностей, в том числе бакалавров и магистров Института наук о Земле СПбГУ. В работе представлены результаты исследований рапы соляных озер и донных отложений, выполненных при участии студентов по материалам летних полевых экскурсий СПбГУ.

Ключевые слова: Крымский полуостров, полевые практики, соляные озера

MINERAL LAKES OF EASTERN CRIMEA AS OBJECTS FOR EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC GEOLOGICAL EXCURSIONS AND RESEARCH

Kayukova E. P., Kotova I. K.

Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences

The Crimean Peninsula is a well-known region in Russia and abroad, where many higher educational institutions conduct their educational and industrial trainings. Natural science excursions are the most important element in the training of modern specialists in natural specialties, including bachelors and masters of the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University. The paper presents the results of studies of brine of salt lakes and bottom sediments carried out with participation of students based on the materials of summer field excursions of St. Petersburg State University.

Key words: Crimean Peninsula, field practices, salt lakes

Введение

Соляные озера Восточного Крыма являются ценными гидроминеральными ресурсами, важным бальнеологическим сырьем, перспективным для создания на его базе различного рода лечебниц, здравниц, курортов. В Восточном Крыму сосредоточены основные запасы лечебных грязей полуострова. В качестве гидроминерального сырья применяют озерную рапу и высокоминерализованные сульфидные лечебные грязи (H_2S от 0,06 до 2,3 г/л) с высоким содержанием брома и бора, и наличием целого ряда различных микрокомпонентов. При рациональном использовании природные ресурсы лечебных грязей и рапы соляных озер Восточного Крыма практически безграничны.

По химическому составу рапы выделяют рассолы озер морского генезиса и рассолы континентального соленакопления. Все соляные озера Восточного Крыма морского соленакопления относятся к сульфатным хлормагнезиевого подтипа; основным источником солей в этих озерах является морская вода, поступающая из Черного и Азовского морей путем фильтрации через пересыпи. Все озера континентального генезиса – сульфатно-натриевые.

Методы исследования. Химический состав главных компонентов рапы изучался в полевой гидрохимической лаборатории на базе СПбГУ в Крыму, микрокомпоненты определялись в Ресурсных центрах СПбГУ «Методы анализа состава вещества» и «Обсерватория экологической безопасности». Диагностика минерального состава иловых

грязей выполнена методом порошкового рентгенофазового анализа в ресурсном центре СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования», химический состав грязей изучен методом рентгенфлюоресцентного спектрального анализа на анализаторе INOVOX по программе «Soil» в ресурсном центре СПбГУ «Геомодель».

Общие сведения об объектах исследования

В Восточном Крыму имеется около двух десятков соляных озер, основные показаны на рис. 1. За последние 70–80 лет вследствие глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия в соляных озерах Крыма наблюдается нарушение гидрохимического режима в сторону распреснения. Это затронуло 45–50 % площади соляных озер.



Рис. 1. Соляные озера Восточного Крыма

Озера морского соленакопления расположились вдоль прибрежной полосы Керченского полуострова. Эти озера некогда имели непосредственную связь с морем. Они чаще всего образуются при затоплении нижних течений рек и балок (за пересыпями можно проследить подводные продолжения русел). Их глубина обычно менее 1 метра, а уровень воды либо немного ниже, либо находится на уровне моря. Питание озер осуществляется за счет атмосферных осадков, подземных вод и постоянной фильтрации морской воды через пересыпи (рис. 2). В силу своей высокой солености зимой озера не замерзают. Наиболее яркие представители озер морского генезиса – Тобечикское, Чокракское, Кояшское и Узунларское. К этим озерам приурочены богатые месторождения лечебных грязей.

Берега озер, расположенных в юго-восточной части Керченского полуострова – Опускского и Узунларского – сложены майкопскими глинами олигоценового и нижнеплиоценового возраста. Берега Чокракского, Тобечикского, Чурубашского озер сложены известняками неогена, желто-бурыми суглинками, глинами и мергелями.



Рис. 2. Озеро Кояшское (морской генезис). Фото Е. П. Каюковой, 2016 г.

Континентальные озера (местное название «коли» – солончаковые впадины) в большинстве своем располагаются вдали от моря (обычно между Парпачским хребтом и Черным морем). По типу гидрологического режима такие озера бессточные, образуются в понижениях рельефа и не связаны с морем, имеют округлую блюдцеобразную форму (рис. 3).



Рис. 3. Озеро Киркояшское (континентальный генезис). Фото Е. П. Каюковой, 2016 г.

Коли питаются, главным образом, атмосферными осадками и притоками подземных вод. Котловины колей образуются в результате провалов и просадок земной поверхности, под воздействием сильных ветров и ливневых потоков, часто они приурочены к кальдерам потухших грязевых вулканов. Летом коли обычно пересыхают, образуя солончаки.

Озера континентального соленакопления представлены крупными колями, наиболее яркие их представители – Марфовка и Киркояш. Поступление солей в эти озера происходит за счет выщелачивания обогащенных сульфатами глин, из-за чего в рапе озер содержатся повышенные концентрации сульфатов.

Почти все минеральные озера Восточного Крыма – самосадочные, то есть в них происходит естественная садка солей. Летом это возможно, когда происходит концентрирование рапы под воздействием испарения, а зимой – когда при низких температурах уменьшается растворимость солей. В озерах континентального происхождения при садке в твердую фазу обычно переходит тенардит или мирабилит: в летние месяцы сернокислый натрий кристаллизуется в виде тенардита, осенью и зимой – в виде мирабилита. В озерах морского генезиса «садится» хлористый натрий, хотя при определенных условиях возможна садка других солей.

С глубокой древности народы, населяющие Восточный Крым, занимались соледобычей из самосадочных минеральных озер. Соль была одним из основных предметов торговли.

При наиболее эффективном бассейновом выпаривании соли обширные мелководья озер делили на разгороженные деревянными перегородками квадраты (чеки), расположенные на разных уровнях, чтобы могла стекать рапа. После того как образуется слой соли достаточной мощности, рапу спускали и приступали к сбору. Кроме поваренной соли (рис. 4), добывали глауберову и соли калия. С развитием добычи каменной соли налаженная добыча озерной соли упала за счет потери рынков сбыта, развивать солепромыслы стало не выгодно и они, постепенно сокращаясь, со временем пришли в упадок. Остатки соляных промыслов еще сохранились на некоторых озерах Восточного Крыма. В настоящее время в Восточном Крыму не осталось ни одного солепромысла.

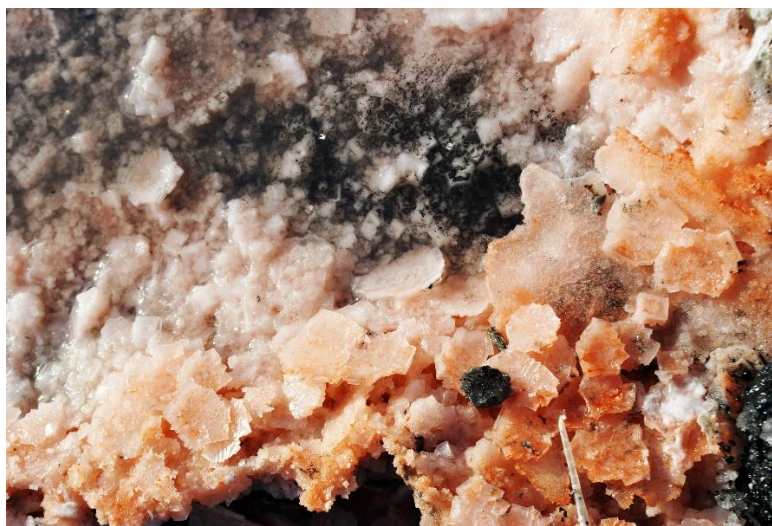


Рис. 4. Соль Кояшского озера. Фото А. Овсиенко, 2013 г.

В крымской соли содержание хлоридов натрия меньше, чем в других видах соли – она «слаще». Соль розового цвета и имеет приятный запах из-за наличия в ней микроводоросли *Dunaliella salina*, имеющей высокую внутриклеточную концентрацию β -каротина, который вырабатывается этим одноклеточным организмом.

При садке галита *Dunaliella salina* включается в его кристаллическую решетку, образуются кристаллы нежно розового цвета, имеющие приятный фиалковый запах. Соляные озера Восточного Крыма – практически неисчерпаемый источник розовой поваренной соли (см. рис. 4) и разнообразного сырья для химической промышленности.

Состав рапы соляных озер Восточного Крыма

Рапа соляных озер представляет собой концентрированный раствор морских солей, преимущественно поваренной соли, хлористого магния и калия, йодистого натрия, бромистого магния и др. В рассолах колея присутствует сульфат натрия.

Рапа крайне важна как для созревания, так и существования грязевых залежей. Высыхание водоема вследствие испарения провоцирует физико-химические процессы в грязевой залежи, приводящие к потере лечебных свойств. Химический состав и степень минерализации рапы влияют на процессы грязеобразования.

В таблице 1 представлены концентрации некоторых металлов, обнаруженных в составе рапы соляных озер Восточного Крыма. Выявлено, что озера морского генезиса содержат мышьяка в среднем в 20 раз больше, чем рассолы Мертвого моря, а озера континентального генезиса, расположенные в центральной части Керченского полуострова – почти на два порядка больше. Это, вероятно, связано с грязевулканической деятельностью (древней и современной), которая широко представлена в Крыму.

В середине лета соляные озера Восточного Крыма обычно приобретают красно-розовую окраску вследствие массового цветения водоросли *Dunaliella salina*. Пик цветения приходится на жаркие месяцы. Микроводоросль *Dunaliella salina* – основная пища соляного рачка *Artemia salina*, обитающего в рассольных водах озер. Отмирающие рачки потребляются сульфатредуцирующими бактериями, которые, замыкая цикл, становятся составляющими лечебной грязи, и, в свою очередь, служат питательным материалом для одноклеточных водорослей. Микроводоросль *Dunaliella salina* способна выживать в гиперсолённых водоемах, при этом она является одним из лучших антиоксидантов и отличается способностью вырабатывать каротин в больших количествах (об этом свидетельствует окраска водоросли). Все это делает одноклеточную водоросль перспективным источником β -каротина для медицинской промышленности.

Рачки *Artemia salina* являются великолепным питательным кормом для рыб. Наиболее подходящими для культивирования рачка *Artemia salina* могут быть соленые части озер Айгульского и Керлеутского. Рачки живут около 4–6 месяцев и вырастают до 12–18 мм. В составе *Artemia salina* содержатся каротиноиды, много белков, жиров, незаменимых аминокислот и жирных кислот, витаминов, гормонов и других биологически активных соединений; в белках обнаружено 18 аминокислот (Руднева, 1991). Отмирая, рачки участвуют в формировании лечебных грязей.

Таблица 1

Массовая концентрация некоторых элементов в рапе соляных озер Восточного Крыма, мг/л (июль 2013 г.)

Привязка	Li	B	V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Bi
Ерофеевка	3,28	1,67	0,0022	0,950	0,0017	0,0190	0,020	0,270	0,006	27,0	0,007	0,0017	<0,0001	0,0097	0,00012
Тобечикское	4,05	30,66	0,0062	1,400	0,0009	0,0091	0,021	0,380	0,170	7,1	0,017	0,0014	0,00017	0,0130	0,00021
Кояшское (среднее 5 проб)	1,85	39,02	0,0044	0,840	0,0008	0,0023	0,029	0,130	0,034	31,0	0,023	0,0110	0,00030	0,0054	0,00015
Чокракское	3,73	60,82	0,0032	0,810	0,0005	0,0044	0,031	0,066	0,420	21,0	0,013	0,0020	<0,0001	0,0042	0,00012
Ачи	0,66	5,90	<0,001	0,007	0,0010	0,0055	0,032	0,013	0,012	6,5	0,008	0,0044	0,00015	0,0039	<0,0001
Марфовка	6,07	65,73	<0,001	0,730	0,0018	0,0330	0,007	0,017	2,700	3,2	0,008	0,0031	0,00043	0,0015	0,00013

Таблица 2

Содержание химических элементов в грязях соляных озер Восточного Крыма, г/т (июль 2013 г.)

Озеро	Кол-во проб	озера морского генезиса																						
		S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Mo	Ba	Pb	Th	U
Кучук-Аджиголь	1	4538	2681	9388	30964	2318	39	86	685	25156	6,7	84	8	39	9,8	32,4	352	13,7	129	1	127	10,2	14	5
Аджиголь	1	11935	55246	6532	38789	1156	23	44	377	13920	7,1	50	6	32	6,2	42,2	557	6,4	65	1	107	10	9	5
Тобечикское	9	12710	43681	9861	31522	1741	41	58	862	17693	8	30	8	34	13	63	321	6	102	1	340	8	11	6
Кояшское	9	12745	71815	9371	19083	1479	28	50	417	14383	8	52	9	36	5	65	462	6	115	1	143	9	11	8
Чокракское	4	13241	60207	6855	16517	1067	21	40	261	10754	5	69	7	22	4	57	484	5	59	1	77	7	9	8
		озера континентального генезиса																						
Ачи	1	7186	12220	11078	10086	3013	51	73	1061	19312	6,5	57	9	32	3,6	32,7	151	11,6	134	1	118	8,8	9	5
Ерофеевское	1	6628	9168	9188	15123	2319	42	63	709	23273	8,1	51	8	47	3	55,9	171	10,4	93	1	99	11,5	11	5
Киркояшское	2	29666	24253	8675	9637	1943	33	67	467	15702	9	70	4	31	4	52	198	9	182	2	143	10	10	5
Марфовка	1	25932	37508	8589	11664	1956	36	57	546	18144	6,2	48	6	33	12	60,5	214	7,2	150	1	147	6,7	7	5

Донные отложения соляных озер Восточного Крыма (сульфидные иловые грязи)

Для образования грязи необходимы: минеральная основа (песчано-глинистые отложения на дне водоемов), органическое вещество, жидкая среда, благоприятная для грязеобразовательных процессов, микробы, вызывающие образование грязи. При этом важна определенная (оптимальная) соленость, при которой грязеобразование идет с максимальной скоростью. Распознать лечебную грязь в природной обстановке нетрудно. Вот ее внешние основные признаки: блестящий черный или серый цвет, запах сероводорода, консистенция густой сметаны, высокая влажность и пластичность, чрезвычайно тонкий состав – при растирании грязи между пальцами не должно ощущаться грубых частиц.

Минеральный состав пелоидов всех соляных озер Восточного Крыма практически одинаков – кварц, полевые шпаты ряда альбит-анортит, слюда, хлорит, каолинит, монтмориллонит; доля этих минералов в грязях варьирует незначительно (Котова и др., 2015). Солевая компонента всех пелоидов состоит их галита, кальцита и гипса, в большинстве случаев присутствуют арагонит, бассанит, глауберит, в некоторых образцах отмечены доломит и гексагидрит (Котова и др., 2015).

Черты сходства и различия озер, проявленные в минеральном составе грязей, устанавливаются и по содержаниям серы, хлора, кальция, которые являются главными солеобразующими химическими элементами в составе грязей (табл. 2).

Различия в химическом составе грязей обусловлены в значительной степени двумя факторами: химическим составом окружающих пород как источника наземного сноса продуктов их выветривания в озерную котловину, а также составом подземных источников питания озер. Так, отличительная черта грязей озер южной части Керченского полуострова (Кояшское, Тобечикское, Марфовка и др.) – повышенные содержания Fe, Ti, Cr, Mn, Pb, V, Co, Zn – обусловлена именно составом железорудных пород этого региона. Грязи крымских озер отличаются повышенными содержаниями серы, источником которой могут служить питающие соляные озера грунтовые воды, взаимодействующие с широко распространенными здесь гипсоносными породами (Котова и др., 2015).

Озеро Чокрак

Самым изученным в Восточном Крыму соляным водоемом является Чокракское озеро, розовая соль и лечебные грязи которого считаются одними из лучших в мире. Оно располагается на севере Керченского полуострова, неподалеку от с. Курортное (Русская Мама), в бухте Морской Пехоты Азовского моря, от которой отделено пересыпью длиной более 1,5 км и шириной от 200 до 350 м. Некогда на месте озера был морской залив, который отчленился от моря песчано-ракушечной пересыпью. Водное зеркало Чокракского озера имеет периметр 13 км и площадь 8,7 км². Разность уровней Азовского моря и озера составляет в среднем около одного метра, при высоте пересыпи 2,3 – 5 м. Фильтрация морских вод через пересыпь

происходит постоянно и оценивается в $303,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$, при штормовых нагонах она достигает величины $535,9 \text{ м}^3/\text{сут.}$ (Юровский, 2006).

Прилегающая территория – возвышенности и гряды, разделенные балками. Котловина Чокракского озера представляет собой вдавленную синклинали, приуроченную к меридиональному разлому. С ним связана грязевулканическая деятельность, о чем свидетельствуют сероводородные источники, бьющие на дне и восточном берегу озера.

Окружающие котловину породы представлены известняками, мергелями и глинами неогенового и четвертичного возраста (рис. 5). Берега Чокракского озера сложены глинами нижнего и среднего сармата. На восточном берегу выходят крутопадающие в сторону озера чокракские и караганские известняки. На участках берега, примыкающих к песчано-ракушечной пересыпи, обнажаются карангатские и узунларские ракушечники, слагающие морские террасы (Губанов, Клюкин, 1979).

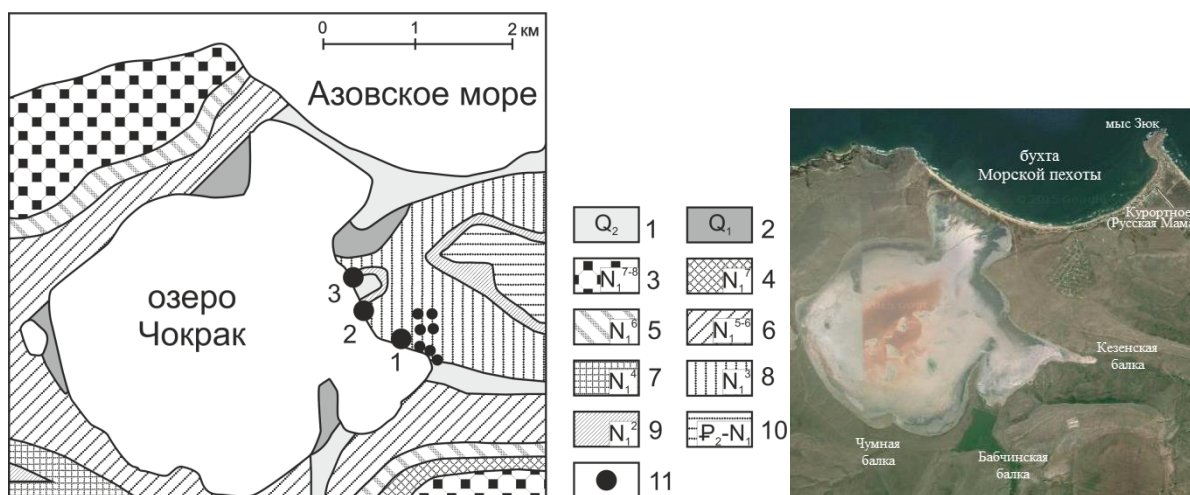


Рис. 5. Схема геологического строения района озера Чокрак (Фомичев, 1948)

1 – береговые пески, лессовидные суглинки, отложения Чокракского озера; 2 – Каспийская и Средиземноморская террасы; 3 – меотис, рифы верхнего сармата и меотиса; 4 – верхний сармат; 5 – средний сармат; 6 – глины среднего и верхнего сармата; 7 – конкский горизонт; 8 – караганский горизонт; 9 – чокракский горизонт; 10 – майкопские глины; 11 – выходы подземных вод

На Чокракском озере известно 7 минеральных источников, но употребляется с лечебной целью только два: источник горько-соленый (№ 1) и серно-известковый (№ 5). Источник № 1 причисляется к хлоридно-натриевой группе; вода светлая, прозрачная, без запаха, горько-щелочного вкуса, температура ее – $16,8^\circ \text{C}$. Вода источника № 5 выходит из земли прозрачной и светлой, с сильным запахом и вкусом сероводорода; оставленная незакрытой, она мутится, осажая серу, и от этого делается молочнообразной, температура воды – $12,5^\circ \text{C}$.

Рапа Чокракского озера соответствует хлоридному магниево-натриевому типу. Ее химический состав приведен в табл. 3. В солевом составе рапы установлены (в вес.%): NaCl (18,06); MgBr₂ (0,106); MgSO₄ (3,84); MgCl₂ (5,58); CaSO₄ (0,034); Ca(HCO₃)₂; плотность рапы при этом составила $1,235 \text{ г/см}^3$ (Понизовский, 1965). Рапа содержит (мг/л): Br (164,6); J (8,5); K (1700) (Альбов, Морозов, 1967).

Рапа Чокракского озера содержит большее количество терапевтически активных микроэлементов, чем рапы других приморских озер (бром – 0,9 г/дм³, метакремниевая кислота – 30 мг/дм³, ортоборная кислота – до 600 г/дм³). Загрязнения рапы пестицидами, нитритами и нитратами отсутствуют. Однако тревожным обстоятельством следует считать повышенное содержание нефтепродуктов (в 1995 г. – 1,7 г/дм³, в 2005 г. – 1,0 мг/дм³) при норме для поверхностных водоемов 0,3 мг/дм³ (Ивашенко и др., 2018).

Таблица 3

Химический состав рапы озера Чокрак в июле 2013 г.

Точка отбора пробы	ρ	NO ₃	CO ₃	HCO ₃	Cl	Na	Ж
	г/см ³	г/л	г/л	г/л	г/л	г/л	г-экв/л
45°27.838' СШ 36°18.533' ВД	1,2002	1,1	0,2	0,9	98,4	73,0	0,9

Дно Чокракского озера выстлано слоем черных илов мощность 2–3 м, залегающих на серых илах. Черный цвет грязей (рис. 6) обеспечивается наличием в илах сернистого железа. В конце лета рапа обычно испаряется, образуется солевая корка, которая полностью покрывает иловые отложения, и по озеру даже можно ходить.

В периоды цветения на засоленных берегах Чокракского озера наблюдаются малиновые заросли солероса европейского (*Salicornia europaea*, суккулент из семейства Маревые).



Рис. 6. Озеро Чокрак в период формирования солевой корки. Фото Е. П. Каюковой, 2015 г.

Минеральный состав пелоидов озера Чокрак следующий: кварц, полевые шпаты ряда альбит-анортит, слюда, хлорит, каолинит, монтмориллонит; в составе солевой компоненты – галит, кальцит, арагонит, гипс, бассанит, глауберит. В числе микрокомпонентов установлены S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Ba, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Sr, Mo, Pb, Th, U (Котова и др., 2015).

Сероводородные источники восточного берега поставляют в минеральный баланс озера йод, бром, бор, железо, титан, алюминий, барий, марганец, медь, стронций, литий, сероводород, метан, азот, углекислоту, инертные газы (иногда до 80 об. %). Суммарный дебит минеральных вод оценивается в 2220 тыс. л/сут. (Шнюков, Иванников, 2000).

Прибрежный аквальный комплекс у мыса Опук и островов «Скалы-Корабли»

Прибрежный аквальный комплекс у мыса Опук и островов «Скалы-Корабли» относится к памятнику природы гидрологического профиля, имеет региональное значение и занимает площадь 150 га вдоль береговой линии, огибающей массив Опук, длина которой около 5 км. Опукский природный заповедник расположен на юго-востоке Керченского полуострова и включает территорию горы Опук, Кояшское соляное озеро, пересыпь, узкий участок побережья почти до с. Яковенково (более 1,5 тыс. га).

Гора Опук – одна из наиболее высоких возвышенностей Керченского полуострова – сложена белыми мшанковыми известняками меотического яруса мощностью более 50 м, которые подстилаются зеленовато-серыми сарматскими глинами. Вершина горы – небольшое плато с абсолютной высотной отметкой 184 м над уровнем моря. Площадь Опукского заповедника сложена неогеновыми и четвертичными породами (рис. 7). На территории ярко проявлена новейшая тектоника (сбросы, оползни).

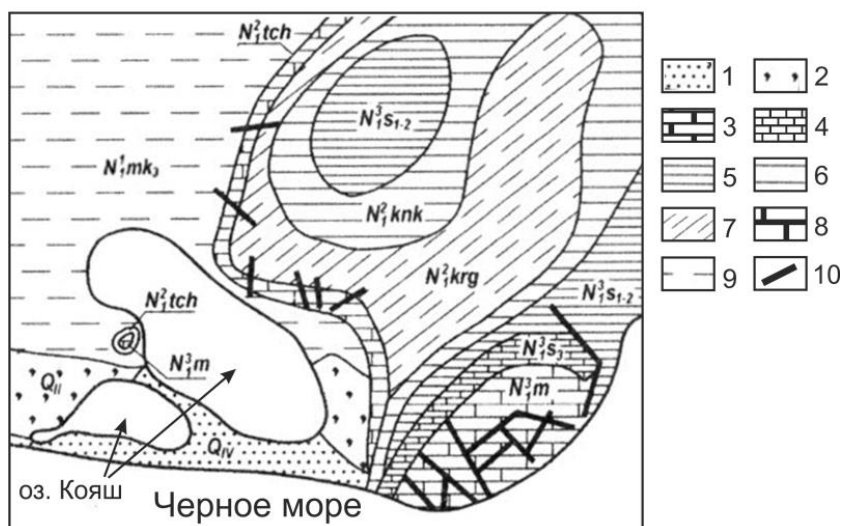


Рис. 7. Геологическое строение Опукского заповедника (Клюкин, 2006)

1–2 – четвертичная система: сопочные брекчии Q_{IV} (1) и ракушечно-детритусовые отложения Q_{II} (2);
3–5 – верхний миоцен: известняки ракушечно-детритусовые рифовые меотического яруса N_1^3m (3), мшанковые известняки сарматского яруса $N_1^3s_3$ (4), глины сарматского яруса $N_1^3s_{1,2}$ (5); 6–8 – средний миоцен: глины тортонского яруса, конкский горизонт N_1^2knk (6), мергелисто-известково-глинистые отложения караганского горизонта N_1^2krg (7), мергели чокракского горизонта N_1^2tch (8); 9 – нижний миоцен, глины майкопской серии $N_1^1mk_3$; 10 – разрывные нарушения.

В. В. Юдин (2012) рассматривает г. Опук как олистострому, в которой несортированные обломки (олистолиты) состоят из миоценовых известняков. Сарматские глины, подстилающие известняки, являются водоупором, по которому происходит соскальзывание блоков известняков (Снигиревский, Волин, Каюкова, 2007; Аркадьев, 2014). Соответственно, все деформации пород, слагающих г. Опук, имеют сейсмогравитационную природу – это гравигенные трещины-раздвиги, сбросы и оползневые дислокации в сарматских известняках.

В 4 км к югу от массива Опук, в морской акватории, над уровнем моря возвышаются скалы – острова «Скалы-Корабли». Они рассматриваются как олистолиты, сложенные миоценовыми ракушечно-детритусовыми известняками, продолжающие свое гравитационное сползание по пологому шельфу (Юдин, 2012).

По мнению других исследователей (Климчук и др., 2014), зияющие расщелины – это реликтовые карстовые каналы, некогда проводившие восходящие потоки (разгрузку) подземных вод через известняковые толщи. В ходе поднятия массива, с возникновением градиента рельефа, разделенные карстовыми каналами крупные блоки известняков легко смещались по глинистому основанию.

Вдоль берега Черного моря наблюдаются следы морской абразии – морские абразионные террасы, сложенные галечным материалом, многочисленные глыбы известняков с косой слоистостью, коренные выходы «бумажных» глин с сильно развитой серной и гипсовой минерализацией, тонкие прослой гипса, крупные обнажения известняковых оползневых тел, с характерными карстовыми поверхностями (Снигиревский, Волин, Каюкова, 2007).

Поверхностные воды Опукского заповедника представлены Кояшским (Элькинским) соляным озером морского генезиса (рис. 7). Это мелководное соляное самосадочное озеро отделено от Черного моря песчаной пересыпью протяженностью 3200 м и шириной около 100 м. Озерная котловина приурочена к низовьям балок, водосборная площадь составляет примерно 23 км², длина береговой линии – 10,5 км, площадь зеркала – 552 га. Некогда Кояшское озеро было мелководным заливом (лиманом). В современный период озеро состоит из двух вытянутых с северо-запада на юго-восток неравноценных по площади водоемов, разделенных древней пересыпью, которые сообщаются через две узкие протоки.

Пересыпь, отделяющая водоемы от моря, представляет собой песчано-ракушечный вал, хорошо уплотненный за счет иловых и глинистых частиц (рис. 8). Берега озера сложены рыхлыми глинистыми отложениями (лессовидными суглинками), залегающими на материнских породах. Лечебные илы залегают на расстоянии 50–150 м от берега слоем мощностью от 0,6 до 0,8 м.

В летний период на Кояшском озере происходит садка галита. На слое донного ила образуется слой поваренной соли, мощность которого в разных частях озера неодинакова, достигает 10 см и выше (т. н. 6 и т. н. 5, рис. 8). В этих точках определена максимальная для озера плотность озерной рапы (1,219 и 1,296 г/см³ соответственно).

Обычно в западной части озера (т. н. 6, рис. 8) вокруг каменных глыб, выступающих из воды, формируются крупные кристаллы галита (рис. 9), отделить которые от каменной подложки можно только с помощью молотка. Известно, что в былые времена на Кояшском озере добывали поваренную соль в промышленных масштабах.

Благодаря сухому климату региона и, как следствие этого, сильному испарению, соленость рапы озера достигает 27–28%. Постоянные водотоки на территории Опукского

заповедника отсутствуют, однако дождевые и талые воды приносят в Кояшское озеро целый комплекс солей, среди которых преобладают сульфаты, вымываемые из майкопских глин. Солевой комплекс рапы Кояшского озера состоит из NaCl (преобладает), $MgCl_2$, $MgSO_4$, $MgBr_2$, KCl, $Ca(HCO_3)_2$, $CaSO_4$.

В озерной рапе и в подземных водах восточного борта озера определены йод, бром и ряд микрокомпонентов (табл. 4, 5). В т. н. 8 (рис. 8) выявлены наиболее высокие концентрации J (30 мг/л), Br (2410 мг/л), Li, B, Mn, As, Mo. Наиболее высокие концентрации Co, Ni, Zn связаны с выходами подземных вод (т. н. 4, табл. 4).

Коэффициент метаморфизации рапы соляных озер варьирует в пределах 0,49–1,34. Для Черного моря он равен – 0,7 (Курнаков и др., 1936). Коэффициент метаморфизации крымских озёр изменяется во времени. Наблюдается тенденция к его увеличению за последние 100 лет. Это может быть связано с распреснением озёр. Такие данные получены студенткой СПбГУ В. Матюниной в процессе работы над Выпускной квалификационной работой (2019 г.).



Рис. 8. Кояшское озеро – схема опробования и вид с г. Опук. Фото Е. П. Каюковой, 2017 г.



Рис. 9. Садка соли в Кояшском озере

Таблица 4

Микрокомпоненты в составе рапы Кояшского озера и подземных вод восточного борта озера, мг/л

№ на рис.8	Li	B	V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Ag	Pb
Кояшское озеро, 27.06.2013													
3	1,6	33	0,005	0,69	0,0006	0,0023	0,037	0,23	0,037	36	0,021	0,002	0,0076
5	1,9	41	<0.001	1,0	0,0016	0,0034	0,039	0,021	0,027	25	0,014	0,011	0,0087
7	1,2	24	0,002	0,56	0,0001	0,0013	0,023	0,20	0,025	30	0,015	0,029	0,0036
Выходы подземных вод на восточном берегу Кояшского озера рядом с т. н. 3 (27.06.2013)													
4	1,0	22	0,002	0,008	0,0054	0,0070	0,031	0,41	0,007	10	0,027	0,003	0,0008
Кояшское озеро, 10 августа 2013													
8	2,7	58	<0.001	0,94	0,0009	0,0019	0,005	<0.001	0,050	26	0,032	0,007	0,0010

Таблица 5

Средние концентрации некоторых металлов в рапе Кояшского озера (5 проб) в сравнении с рассолами Мертвого моря (4 пробы), мг/л (Котова и др., 2015)

	Sr	Mn	Li	Co	Ni	Mo	Cd	V	B	Zn	Cu	Pb	Bi	As	Ag
озеро Кояшское	30,8	0,8	1,8	0,001	0,002	0,023	0,0002	0,003	39	0,11	0,029	0,005	0,0002	0,03	0,011
море Мертвое	491,8	7,2	14,1	0,005	0,013	0,051	0,0003	0,004	43	0,11	0,027	0,004	0,0001	0,01	0,003

Современному бальнеологическому применению в санаторно-курортной практике лечебных грязей и рапы около двухсот лет, однако несмотря на важную лечебную роль бальнео- и пелоидотерапии в современных программах медицинской реабилитации, лечебные ресурсы восточного Крыма до настоящего времени не включены в официальные реестры курортно-рекреационной сферы (Ежов и др., 2018).

При этом на полуострове располагаются обширные залежи лечебной грязи, соли, рассолов; имеются многочисленные минеральные источники, известны проявления термальных вод. Потенциал природных лечебных и рекреационных ресурсов Крыма чрезвычайно высок за счет, в первую очередь, возобновляемых при разумном использовании рапы и пелоидов крымских соляных озер. Это один из важнейших факторов развития региона.

Заключение

Крымский полуостров чрезвычайно привлекателен как полигон для различного рода естественнонаучных экскурсий в силу расположенных здесь многочисленных природных объектов. Таковыми, в первую очередь, являются крымские соляные озера.

Эти уникальные составляющие природного ландшафта – великолепный учебный материал с одной стороны, и предмет первых научных работ студентов – с другой. В ходе учебных и учебно-производственных полевых практик студенты под руководством преподавателей отрабатывают методы изучения озер, отбирают пробы рапы и грязей; именно на этих материалах были защищены многие выпускные работы студентов, опубликован ряд статей. В данной публикации использованы материалы и результаты, полученные при участии студентов геологического факультета СПбГУ А. Овсиенко, В. Матюниной, Л. М. Болтовской, Тянь Чао.

В сентябре 2017 г. на V-ой международной конференции «Полевые практики в системе высшего образования», посвященной 65-летию учебной геолого-съёмочной практике СПбГУ, обсуждались многие проблемы, связанные с проведением полевых и производственных практик высших учебных заведений России. Как не допустить сокращение полевых практик в программах подготовки бакалавров и магистров, как сохранить практики в учебном процессе? Эти вопросы становятся особенно актуальны в 2020 г., когда в связи с пандемией не состоялся выезд в Крым студентов СПбГУ и других вузов России.

Авторы выражают благодарность за выполненную работу сотрудникам следующих Ресурсных центров Санкт-Петербургского университета – «Рентгенодифракционные методы исследования», «Геомодель», «Методы анализа состава вещества» и «Обсерватория экологической безопасности».

Литература

- Альбов С. В., Морозов В. И.* О микрокомпонентах в воде Чокракского озера на Керченском полуострове / Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР. 1967. Вып. 1. С. 242–244.
- Аркадьев В. В.* Геологические экскурсии по Крыму. Симферополь: Издательский дом «ЧерноморПРЕСС». 2014. 208 с.
- Губанов И. Г., Клюкин А. А.* Роль грязевого вулканизма в формировании озерных котловин Керченского полуострова // Литолого-геохимические условия формирования донных отложений. Киев: Наукова думка. 1979. С. 117–126.
- Ежов В. В., Васенко В. И., Чабан В. В., Станкевич Д. А.* Состояние и перспективы освоения лечебных бальнеогрязевых ресурсов Крыма // Вестник физиотерапии и курортологии. Изд-во КФУ им. В. И. Вернадского. Т. 24. № 1. 2018. С. 110.
- Иващенко А. С., Мизин В. И., Ежов В. В. и др.* Бальнеологическое применение лечебных грязей и рапы месторождений западного и восточного Крыма в санаторно-курортной практике // Вестник физиотерапии и курортологии. 2018. Т. 24. № 1. С. 43–51.
- Климчук А. Б., Амеличев Г. Н., Вахрушев Б. А. и др.* Проявления гипогенного карста в Опукском массиве на Керченском полуострове // Спелеология и карстология. 2014. № 12. С. 57–68.
- Клюкин А. А.* Природа и разнообразие факторов среды территории Опукского природного заповедника // Тр. Никитского ботанического сада. 2006. Т. 126. С. 8–22.
- Котова И. К., Каюкова Е. П., Мордохай-Болтовская Л. В. и др.* Закономерности формирования состава иловых грязей Мертвого моря и соляных озер Крыма // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2015. Вып. 2. С. 85–106.
- Курнаков Н. С., Кузнецов В. Г., Дзен-Литовский А. И., Равич М. И.* Соляные озера Крыма. Изд-во АН СССР. 1936. 278 с.

- Понизовский А. М.* Соляные ресурсы Крыма. Симферополь: Крым. 1965. 263 с.
- Руднева И. И.* Артемия. Перспективы использования в народном хозяйстве. Киев: Наукова думка. 1991. 144 с.
- Снигиревский С. М., Волин К. А., Каюкова Е. П.* Опускский природный заповедник – опорный объект геологической экскурсии студентов СПбГУ по Восточному Крыму / Полевые практики в системе высшего профессионального образования. II межд. конф.: Тезисы докладов. СПб.: СПбГУ, ВВМ. 2007. С. 70–74.
- Фомичев М. М.* Чокракские сероводородные источники // Тр. лаборатории гидрогеол. проблем АН СССР. Т. 1. 1948. С. 221–232.
- Шнюков Е. Ф., Иванников А. В.* Озеро Чокрак – потенциально лучший бальнеологический курорт Украины // Геология Черного и Азовского морей. Киев: ОМГОР НАН Украины. 2000. С. 143–151.
- Юдин В. В.* Классификация олистостром // Тр. Крымской АН. Симферополь. 2012. С. 150–162.
- Юровский Ю. Г.* Естественные интрузии морских вод // Сб. научных трудов УкрГГРИ. 2006. № 3. С. 136–142.