

Лекция 7

Озера

1 Общие сведения об озерах Мира

Озерами называются замкнутые внутриконтинентальные водоемы, имеющие самое разное происхождение: реликтовое, тектоническое, ледниковое, вулканическое, старичное, эрозионное. Размеры их настолько разнятся, что некоторые из них с полным на то основанием называются морями. Ниже привожу список наиболее крупных озер Мира.

Таблица 1

Крупнейшие озера мира

Название	Площадь, тыс. км ²	Название	Площадь, тыс. км ²
Каспийское море (Азия — Европа), соленое	371,0	Вольта (Гана)	8,5
Верхнее (США — Канада)	82,1	Титикака (Перу — Боливия)	8,3
Виктория (Кения, Танзания, Уганда)	69,4	Никарагуа (Никарагуа)	8,0
Гурон (США — Канада)	59,6	Атабаска (Канада)	8,0
Мичиган (США)	57,8	Оленье (Канада)	6,7
Аральское море (Казахстан — Узбекистан), соленое	36,5	Рудольф (Кения — Эфиопия), соленое	6,5
Танганьика (ДРК, Бурунди, Танзания, Замбия)	32,9	Иссык-Куль (Киргизия), солоноватое	6,2
Байкал (Россия)	31,5	Кокунор (Цинхай) (Китай), соленое	5,7
Большое Медвежье (Канада)	31,3	Торренс (Австралия), соленое	5,7
Ньяса (Малави, Танзания, Мозамбик)	29,0	Венерн (Швеция)	5,7
Большое Невольничье (Канада)	28,5	Альберт (ДРК — Уганда)	5,6

Название	Площадь, тыс. км ²	Название	Площадь, тыс. км ²
Эри (США — Канада)	25,6	Неттиллинг (Канада)	5,4
Виннипег (Канада)	24,3	Виннипегосис (Канада)	5,39
Балхаш (Казахстан), соленое	22,0	Кариба (Замбия — Зимбабве)	5,31
Онтарио (США — Канада)	19,7	Нипигон (Канада)	4,9
Ладожское (Россия)	17,7	Гэрднер (Австралия), соленое	4,77
Чад (Нигер, Чад, Камерун, Нигерия), солоноватое	16,3	Урмия (Иран), соленое	4,69
Маракайбо (Венесуэлла)	13,5	Манитоба (Канада)	4,66
Онежское (Россия)	9,7	Лесное (США — Канада)	4,47
Эйр (Австралия), соленое	9,3		

Если сравнивать по площади, то Байкал, самое глубоководное (1637м) и полноводное пресное озеро (19% мировых запасов пресной воды), занимает среди них всего 8ое место, имея площадь в 31.5 тыс. км², что меньше почти втрое площади оз. Верхнего в Северной Америке, а Каспий при этом в 4 раза больше Верхнего. Территориальное распределение озер, конечно, в первую очередь зависит от климата. Самое большое количество озер в гумидной зоне, особенно в пределах четвертичных материковых оледенений. Здесь ледниковые озера и реки пространственно и генетически тесно связаны, образуя единую плотную гидросеть с господствующей ориентировкой в направлении движения ледника, как это можно видеть на примере Балтийского щита. Но это озера по большей части средние и мелкие (рис.1).

2. Тектонические озера рифтовых систем

Наиболее крупные озера тектонического происхождения могут быть реликтовыми, т.е. когда-то были связаны с мировым океаном, как например Каспий, но затем в результате крупных тектонических перестроек, оказались изолированными. Большинство же крупных озер Земли тектонического происхождения связаны с грабенами рифтовых систем, как это, например можно видеть на примере Великой рифтовой долины Восточной Африки и Ближнего

Востока (Иорданский рифт).

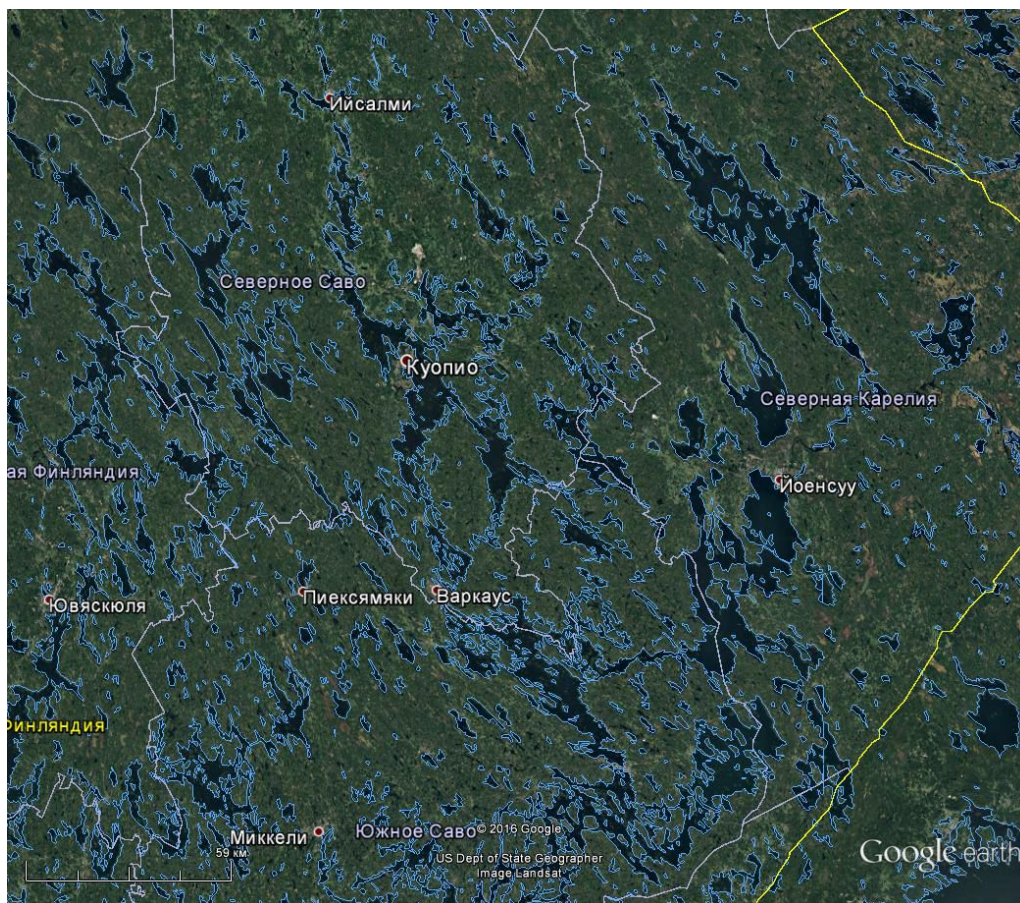


Рис.1. Поверхностный сток в Финляндии



Рис.2. Иорданский рифт с Мертвым морем и другими озерами

Протяжённость *Иорданского рифта* с севера на юг составляет около 250 км, наибольшая ширина – 25 км. Впадина ограничена крутыми склонами относительной высотой 1000-1400 м. Не имеет внешнего стока. Климат и естественная растительность – полупустынные и пустынные.

Восточно-Африканский рифт еще более грандиозная геологическая структура:

- Протяженность (с юга на север): около 6000 км.
- Ширина: от 30 до 100 км.
- Глубина: от нескольких сотен до тысяч метров.
- Самая высокая точка: гора Килиманджаро (Танзания, 5895 м).
- Самая низкая точка: –153 м (долина Афар).



Рис. 3. Великая рифтовая долина с крупными озерами в Восточной Африке

Впадина рифта образовалась примерно 1,5-2 млн. лет назад, в начале четвертичного периода. По границе впадины высятся вершины вулканов, в числе которых есть и действующие, например вулкан Даббаху (1442 м), известный тем, что его извержение 2005 г. и предшествовавшие ему землетрясения привели к образованию трещины в земной коре — «разлому Даббаху.

Озера рифта Грегори (восточная ветвь) не имеют выхода к морю и постепенно мелеют. В результате испарения на дне оседает значительное количество соли. Так, на дне озера Магади (Кения) образовался соляной слой толщиной до 40 м, а высохшие участки покрыты пластами чистой каменной соли. Жизнь присутствует в озере Танганьика примерно до глубины 200 м, ниже этой отметки высокая концентрация сероводорода, и жизнь отсутствует до самого дна.

В области Великой рифтовой долины расположено множество вулканов, самые высокие из которых — потухшие Кения, Килиманджаро и Элгон. Кроме того, один из примеров их большого скопления — Национальный парк вулканов на северо-западе Руанды. В пределах Великой рифтовой долины находится высочайшая вершина Африки — Килиманджаро и громадная вулканическая кальдера Танзания, возникшая в результате разрушения большого вулкана 2,5 млн. лет назад. Глубина кратера 610 м, диаметр от 17 до 21 км, общая площадь примерно 265 км².

Танганьика — самое длинное в мире пресноводное озеро: протяженность его составляет около 700 км. Озеро Виктория, расположенное в тектоническом прогибе Восточно-Африканской платформы, между западной и восточной ветвями рифтов, — второе по площади пресное озеро мира (после озера Верхнее): 68 тыс. км². Ньяса — третье по площади и самое южное из озер Великой рифтовой долины, заполняющее глубокую меридиональную впадину в земной коре между Малави, Мозамбиком и Танзанией на протяжении почти 600 км. Толщина осадочных пород на дне озера достигает 4 км: возраст озера — несколько миллионов лет.

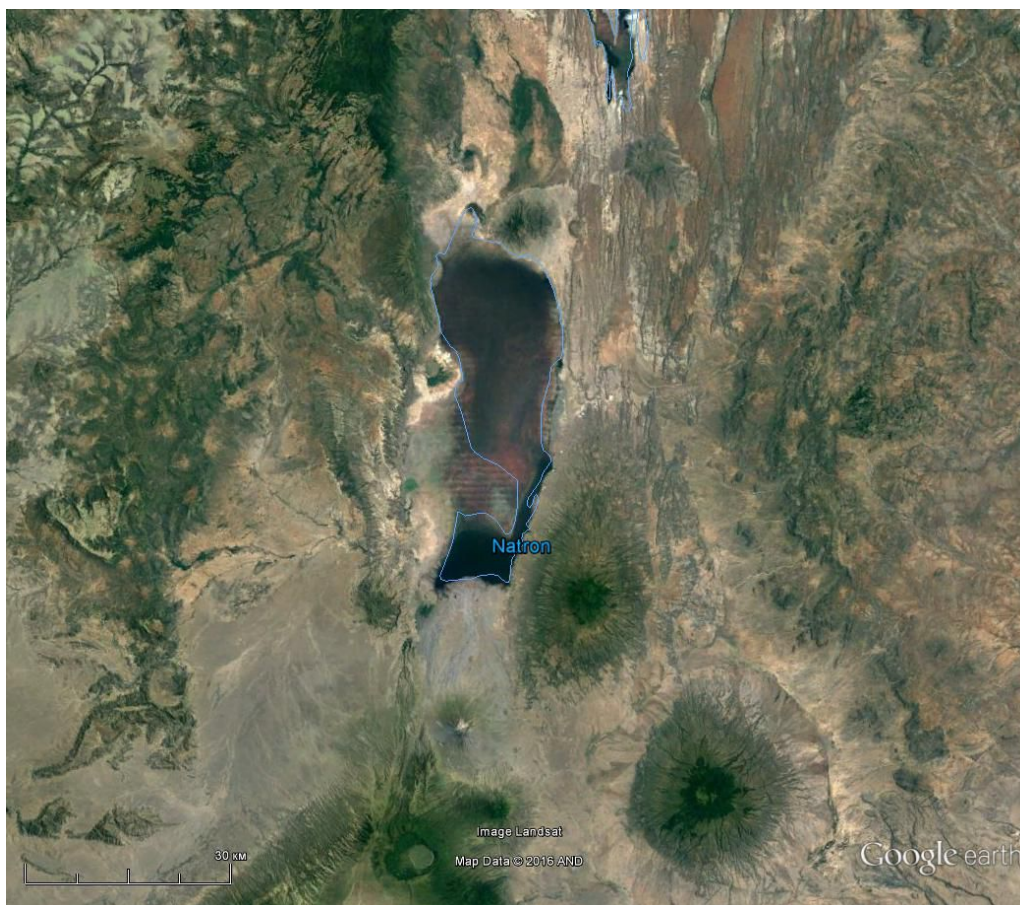


Рис. 4. Вулканы возле озера Натрон

3. Тектонические озера межгорных котловин (грабенов)

Например, это известные в СНГ озера Иссык–Куль, Севан, Рица

4. Вулканические озера

Особенно часто вулканические озера встречаются в Тихоокеанском вулканическом кольце. На Японских островах почти половина озер вулканического происхождения. Вулканические озера можно встретить в Европе, Африке, Австралии и даже Антарктиде. Здесь примерно в 3 км от советской антарктической станции Беллинсгаузен имеется молодой вулканический кратер, заполненный водами озера Глубокого.

5. Старичные озера

В пойме всех рек можно обнаружить серповидные вытянутые озера, плесы бывших русел реки.



Рис. 5. Старичные озера (реликты речных меандр).

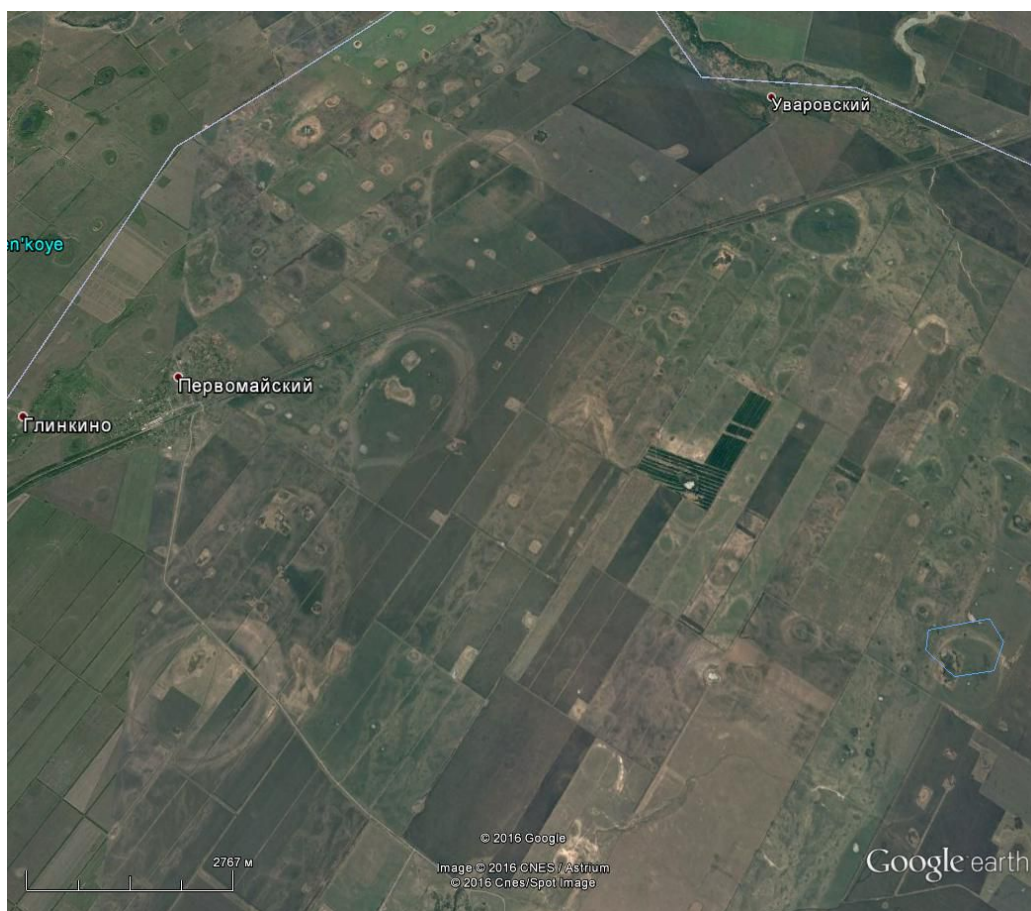


Рис. 6. Система циркументных озер – котловин на востоке Воронежской области

6. Озера циркумментов

Это заполненные водой суффозионные, просадочные и карстовые котловины в толщах осадочных пород. Характерны для плоских и низких водораздельных пространств междуречий. Широко распространены на территории ОДН, где их системы также могут контролироваться локальными активными геологическими структурами

8. Химический состав озерных вод и его отличительные особенности

Химический состав вод в озерах весьма разнообразен и определяется многими факторами. Основными ионами, характеризующими химический состав озерной воды, являются как и для всех природных вод, HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ . Основной состав вод озер как и для рек формируется в результате подвижного равновесия между приходными и расходными составляющими солевого баланса.

$$\text{Спр} + \text{Сатм} + \text{Сгр} = \text{Сст} + \text{Сэол} + \text{Сфил} + \text{Сос}$$

где Спр – соли, вносимые притоками;

Сатм – соли, вносимые атмосферными осадками и пылью;

Сгр – соли, вносимые грунтовыми водами;

Сст – соли, выносимые стоками;

Сэол – соли, выносимые ветром;

Сфил – соли, теряемые при фильтрации;

Сос – соли, выпадающие в осадок.

Озера по сравнению с реками имеют замедленный водообмен и более ограниченную по условиям площадь водосбора. И это не может не отражаться в целом на различиях их химического состава. Если воды рек в основном пресные, т.е. с малой минерализацией во всех климатических зонах, то минерализация воды в озерах имеет большую зависимость от их местоположения. Например, если реки засушливых областей имеют минерализацию, редко превышающую 1-2 г/л, то минерализация озер этой же климатической зоны изменяется в весьма широких пределах – от нескольких десятков миллиграммов до сотен граммов на

литр. б.

Пресные озера. Общая минерализация составляет <1 г/л. Они формируются: в гумидной зоне т.е. в условиях избыточного и достаточного увлажнения и имеют постоянный в течение года сток.

Солоноватые озера характерны для районов недостаточного увлажнения. Они имеют сток в отдельные сезоны года, при этом в системе приток – озеро-сток устанавливается некоторое равновесие, определяющее относительно повышенную минерализацию воды в озере. Величина минерализации соленоватых озер колеблется в пределах 1-25 г/л.

Соляные озера характеризуются общей минерализацией воды свыше 25 г/л. Они формируются в районах с аридным т.е засушливым климатом, в условиях высокого испарения с поверхности, весьма незначительного стока или при его полном отсутствии. Это приводит к накоплению в воде и на дне озера различных солей, поступающих с притоками и выпадающих из воды в осадок при превышении произведения активности ионов.

Пресные и соленоватые озера имеют наиболее широкое распространение в мире.

Основное значение в формировании химического состава пресных озер имеет соотношение между $S_{пр}$ и $S_{ст}$. В отличие от рек химический состав озер и их гидрохимический режим во многом определяются объемом водоема т.е, площадью поверхности, глубиной, а также и конфигурацией озера. В общем виде изменения состава вод наблюдается та же закономерность, что и в речных водах – с возрастанием минерализации наблюдается относительный рост ионов в последовательности увеличения их растворимости:



В пресных озерах преобладают гидрокарбонатные ионы (4-600 мг/л), второе место занимает сульфат-ион (2-40 мг/л), содержание хлор – иона колеблется в пределах 1-60 мг/л. Из катионов преобладает Ca^{2+} (2-140 мг/л). Содержание иона магния изменяется от 2 до 60 мг/л. В табл.1 приводятся параметры распределения

Гидрохимия озер Мира

Ионы мг/л	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Сумма ионов
Озера	Пресные						
Сев. А.мерим:							
Ниписсинг	26,2	8,5	1,0	9,0	3,6	3,8	52
Симкое	134,2	13,6	3	39,5	6,3	1,8	198
Супериор	50,0	4,8	1,5	14,1	3,7	3,4	77
Эри (у впадения р. Ниагара)	117,7	22,1	14,8	38,1	8,5	7,7	209
Эри (у г. Гурона)	121	28	17	39	8,7	8,2	222
Онтарио (у г. Торонто)	113,5	20,3	15,6	36,91	7,8	8,9	203
Великое	4,5	6,4	3,3	3,9	3,2	5,6	27
Европа:							
Кохельвее	220	33,6	1,1	56	14	3,5	328
Цюрихское	145	11,1	0,83	41	7,2	2,3	207
Балатон	197	НО	15,2	45,3	65,7	48,2	481
СНГ							
Байкал (поверхность)	59,2	4,9	1,8	15,2	4,2	6,1	91,4
Байкал (1000 м)	58,6	4,4	2,0	15,2	4,4	4,9	89
Ладожское	40,2	2,5	7,7	7,1	1,9	8,6	68
Телецкое	48,6	2,8	0,8	12,4	2,1	1,73	68
Онежское	20,4	1,3	1,5	54,2	1,6	1,5	80
Севан	414,7	16,9	62,9	33,9	55,9	77,3	662
Озера	Соленоватые						
СНГ							
Балхаш	492,7	893	574	25.1	294	1475	3754
Иссык-Куль	240	2115	1585	114	17,9	63,2	4135
Аральское	202	164,8	73,6	94,1	17,9	63,2	616

Воды соляных озер характеризуются минерализацией, близкой к насыщению. В СНГ зона минеральных озер (соляных озер) занимает южную зону степей, полупустынь и пустынь и тянется от нижнего течения Дуная до Дальнего Востока. В Северной Америке соляные озера сосредоточены преимущественно в северо-западной бессточной зоне, в Азии они расположены в северной части

Ирана и Индии, которые по своим природным условиям как бы являются продолжением пустынь и полупустынь Средней Азии. В табл. 2 приводится химический состав некоторых соляных озер мира.

Таблица 2

Гидрохимический состав соленых озер

Ионы мг/л	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na+K	Сумма ионов
<i>США</i>							
Гуденоух	185	118 330	6240	6660	–	470	48 280
Ласт Чепе	191	102 810	25470	7240	–	890	52 880
Лонг Лейк	27	10 280	8360	520	380	160	7440
Айроп Маек	279	6200	203 900	700	Следы	34 200	34 200
Маиитоу	107	554	51 720	23 295	514	11 160	17950
Редберри	13	483	9086	147	71,5	1590	1547
<i>СНГ</i>							
Сакское	111	240	7620	61 300	1000	5430	35 700
<i>Бол. Богатое</i>	352	2640	95 200	137 800	210	19 200	97 300
Кучук	281	500	44 500	121 600	500	11 200	82 300
Экибастуз	73	396	5722	40 402	2502	3258	21 084
Туз	105	384	3633	62 007	2823	3560	32 628
Наргиз	65	156	4218	36 950	1274	1475	20 550
Махариу	121	228	8320	180 200	580	4383	109400

М. Г Валяшко выделил три основных типа соляных озер:

1. Карбонатный, или содовый. Основные компоненты – CO_3^{2-} , HCO_3^-
2. Сульфатный тип. Основные компоненты – SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+
3. Хлоридный тип. Основные компоненты – Cl^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}

При поступлении в озеро вод с соотношением ионов HCO_3^- ; $> \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ в соответствующих климатических условиях создаются предпосылки для накопления в озерной воде гидрокарбонатного иона и формирования карбонатных озер. При наличии в водах, питающих озеро, соотношения ионов $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ в озере аккумулируются сульфатные и хлоридные ионы; в таком случае образуются сульфатные озера. Хлоридные озера формируются обычно при

питании озера притоками, в которых ионы хлора преобладают над остальными. Минерализация соляных озер и концентрация главных ионов колеблется в широких пределах (см.табл. 2).

9. Мезоэлементы

Кроме главных ионов, содержание которых в воде достаточно велико, ряд элементов: азот, фосфор, кремний, алюминий, железо, фтор – присутствуют в ней в концентрациях от 0,1 до 10 мг/л. Они называются мезоэлементами (от греч. "мезос" – "средний", "промежуточный").

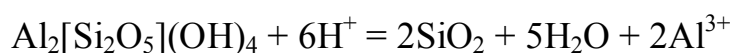
Азот в форме нитратов NO_3^- и в форме аминокислот, мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и солей аммония NH_4^+ образующихся при разложении органических остатков, попадает в водоёмы с дождевой водой и при разгрузке в них грунтовых вод.

Фосфор присутствует в воде в форме гидрофосфатов HPO_3^{2-} и дигидрофосфатов H_2PO_3^- , также образующихся в результате разложения органических остатков.

Кремний является постоянным компонентом химического состава любых природных вод. Этому способствует повсеместная распространенность соединений кремния в горных породах, но малые содержания кремния в воде обусловлены плохой растворимостью всех его соединений. Концентрация кремния в природных водах обычно составляет несколько миллиграммов в 1 л. В подземных водах она повышается и часто достигает десятков миллиграммов в 1 л, а вот в горячих термальных водах – даже сотен. Потому в магматических горных породах весьма распространены кварцевые жилы. На рост растворимости кремния, кроме температуры сильно влияет также и повышение щелочности водного раствора. Эти условия определяли и состав донных осадков в водоемах, например природу тонкополосчатой текстуры докембрийских железистых кварцитов с чередованием железистых и кварцевых слоев некоторые исследователи связывают с сезонностью, летом в осадке было больше железа, а зимой наоборот.

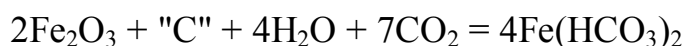
Дефицит кремния в поверхностных водах, **несоответствующее растворимости диоксида кремния (125 мг/л при 26°C, 170 мг/л при 38°C)**, указывает на наличие в воде процессов уменьшающих ее концентрацию. К ним можно отнести потребление кремния водными организмами, многие из которых, например диатомовые водоросли, строят свой скелет из кремния. Способствует неустойчивости кремния в растворе и склонность кремниевой кислоты при определенных условиях переходить в гель. В очень слабо минерализованных водах кремний составляет существенную, а иногда и преобладающую часть химического состава воды, несмотря на его малое абсолютное содержание. Присутствие кремния в воде является серьезной помехой в технике, так как при продолжительном кипячении воды кремний образует в котлах очень твердую силикатную накипь.

Алюминий поступает в водоёмы в результате действия кислот на глины (это одна из важнейших химических реакций протекающих в коре выветривания – гидролиз силикатов, при которой катион водорода вытесняет из них металлы и кремнезем):



Железо

Основной источник железа – горные породы. Органические остатки (ниже обозначаются как "С"), находящиеся в контакте с породами, восстанавливают трехвалентное железо до двухвалентного и последнее медленно выносится из породы в форме гидрокарбоната или солей гуминовых кислот:



Когда вода с растворёнными в ней ионами Fe^{2+} вступает в контакт с воздухом, железо быстро окисляется, образуя коричневый осадок гидроксида $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Синеватая плёнка на поверхности воды – это тоже $\text{Fe}(\text{OH})_3$, образующийся, когда подземные воды, содержавшие ионы Fe^{2+} , вступают в контакт с воздухом. Ее часто путают с масляной пленкой, однако различить их очень легко: у пленки гидроксида железа рваные края. Если поверхность воды

слегка взволновать, гидроксидная пленка, в отличие от масляной, не будет переливаться. Со временем он превращается в бурый железняк (лимонит).

10. Микроэлементы в озерных водах

К этой группе относятся элементы, соединения которых встречаются в природных водах в очень малых концентрациях, поэтому их и называют микроэлементами. Их концентрация измеряется микрограммами в 1 л (мкг/л), а часто имеет и еще меньшие значения. Микроэлементы представляют собой самую большую группу элементов химического состава природных вод, в нее входят все элементы периодической системы, не включенные в предыдущие группы рассмотренных компонентов. Условно их можно разделить на пять подгрупп: 1) типичные катионы (Li^+ , Rb^+ , Cs^+ , Be^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} и др.); 2) ионы тяжелых металлов (Cu^{2+} , Ag^+ , Au^+ , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} и др.); 3) амфотерные комплексообразователи (Cr, Mo, V, Mn); 4) типичные анионы (Br^- , I^- , F^-); 5) радиоактивные элементы. Микроэлементы необходимы для нормальной жизнедеятельности растений, животных и человека. Однако при повышенной концентрации многие микроэлементы вредны и даже ядовиты для живых организмов. Поэтому часто они становятся загрязняющими веществами и концентрация их контролируется. Успешное изучение микроэлементов затруднено не только их малым содержанием в природных водах, но и в сильнейшей мере неясностью формы их присутствия в растворе. Последнее не только осложняет выяснение закономерностей их миграции и режима но и создает трудности при химическом анализе. Например, многие тяжелые металлы мигрируют в больших концентрациях именно во взвешенном, а не в растворенном состоянии. Растворенные органические комплексы образуют большинство металлов, прежде всего двух- и трехвалентные металлы с гуминовыми и фульвокислотами. Концентрация металлов в воде, поэтому и зависит от концентрации органических кислот. В воде многие гидроксиды металлов присутствуют в виде коллоидных соединений.

Известно, что в некоторых соляных озерах происходит накопление редких щелочных металлов (главным образом лития) и бора до уровня, оправдывающего

промышленное извлечение этих элементов. Характерным примером этого служат рассолы пересохшего оз. Сёрлз, содержащие 0,01% Li_2O (обычно в водах озер содержится 1-10 мг/л лития). Обобщение данных по озерам (за исключением специфических, связанных с вулканизмом и гидротермами), позволяет судить об аналогии в среднем соотношении микроэлементов в озерных и речных водах (исключением является мышьяк, больше накапливающийся в озерных водах).

Важным источником мезо – и микроэлементов в воде озер является их поступление вместе с растворенными гумусовыми веществами с почвенного покрова водосборной площади. Их поступление во многом связано с общим содержанием в них органического углерода, а также и с кислотностью. Это относится в первую очередь к Al, Fe и Mn. Последнее хорошо проявлено в озерных циркументах Липецкой области., где аномальные содержания этих металлов в подземных водах имеют обратную корреляционную содержанием их в почвах. Последние в результате выщелачивания этих металлов кислыми водами превращаются из чернозема в выбеленные солоды.

В юго-восточной части Липецкой области в зоне плотного развития



Рис. 7. Почвенный разрез в циркументе. Под верхним слоем чернозема залегают выщелоченные почвы – солоды.

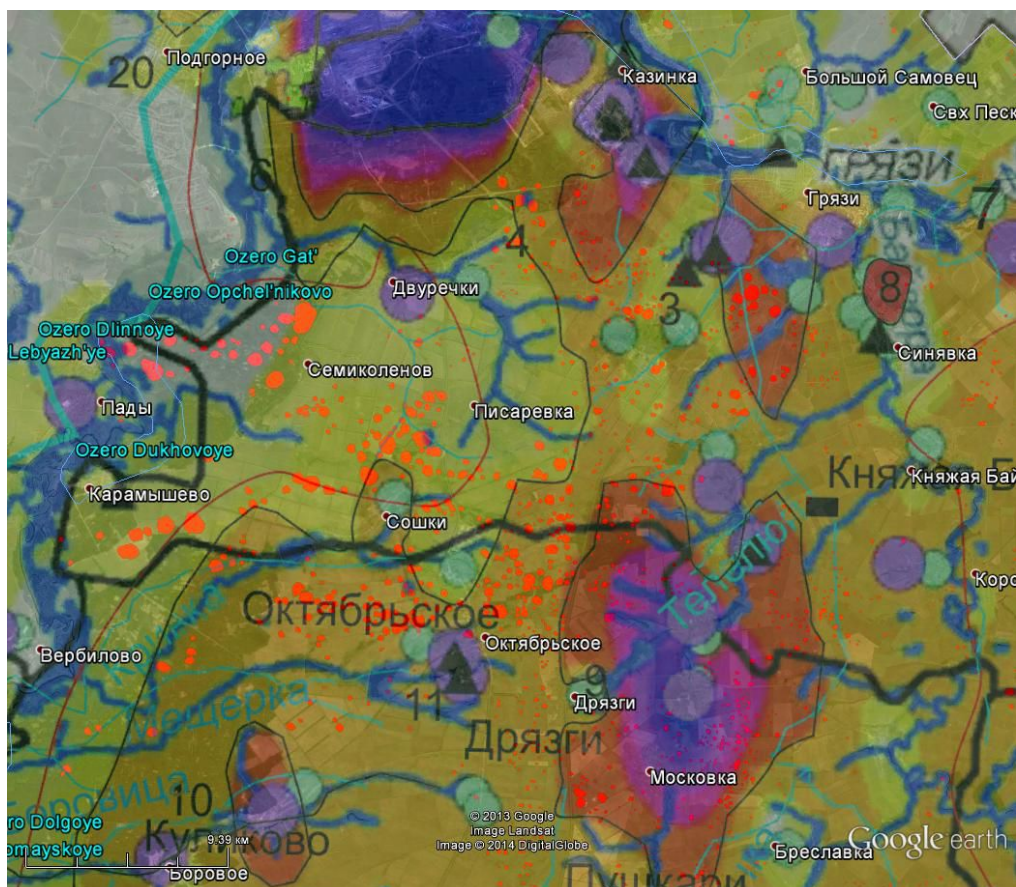


Рис.8. Сошкинско-Двуреченская депрессия окольцована циркумментами и контрастными гидрогеохимическими аномалиями железа и марганца (в фундаменте это Сошкинский раннеархейский выступ)

циркумментов обширные гидрогеохимические аномалии железа и марганца сопровождаются повышенными содержаниями свинца, стронция лития, цинка, и урана. Зависимость таких микроэлементов как Cu, Ni от величины ОС в озерных водах значительно выше, чем у Cd, Zn и Pb. Как указывают Маннио, концентрация Cu и Ni и, в меньшей степени, Mn и Zn в воде коррелируется с их содержанием в осадочных породах водосбора. Гумусовые воды благодаря их кислотности хорошо транспортируют микроэлементы, которые при других условиях могли бы накапливаться в почвах водосборной площади.