|  |
| --- |
| **ГИДРОЛОГИЯ ОЗЕР** |

**§ 1. Происхождение озер и их распространение на земном шаре**

Озеро - это естественный водоем суши с замедленным водообменом. По характеру водообмена различают озера:

Сточные - т.е. сбрасывающие часть своих вод в виде речного стока (Байкал, Онежское, Ладожское)

Бессточные - т.е. лишенные стока. Характерны для засушливых районов (Иссык-Куль, Балхаш, Чад).

Проточные - через которые идет транзитный сток реки (оз. Чудское, Сарезское).

В понятие «озеро» входит котловина и водная масса, ее заполняющая как неразрывное целое. Происхождение озера связано с образованием котловины под влиянием эндогенных и экзогенных процессов и заполнением ее водой на длительное время.

Озера распространены на поверхности суши повсеместно. Особенно много озер в районах древнего оледенения и многолетней мерзлоты (север Европы, США, Канады, Сибири).

В озерах мира сосредоточено 176 тыс. км3 воды, в том числе - 91 тыс. км3 пресных вод. На земном шаре озера занимают 2,1 млн. км2, т.е. 1,4% суши.

К самым крупным озерам (по площади) относятся: Каспийское солоноватое море - 374000 км2 (78200 км3 воды), Верхнее - 82680 км2 (Канада), Виктория - 69000 км2 (Танзания), Аральское море - 64100 км2 (Казахстан), Гурон - 59800 км2 (Канада, США), Мичиган - 58100 км2 (США) Танганьика - 32900 км2 (Танзания, Заир).

Байкал - 31500 км2, а объем - 23000 км3 - самый большой объем пресной воды и самое глубокое в мире (1620м).

**§ 2. Типы озер**

Наиболее известна типология озер по характеру происхождения озерных котловин. Выделяются следующие типы озер:

1. *Тектонические* - образующиеся в прогибах земной коры на равнинах (Ладожское, Онежское), в горных прогибах (Иссык-Куль, Балхаш), в рифтах, грабенах (Байкал, Танганьика).

2. *Вулканические* - образующиеся в кратерах, кальдерах вулканов (озера о. Ява), в углублениях лавовых покровов (озера Камчатки, оз. Киву в Африке).

3. *Ледниковые* - образующиеся в понижениях рельефа, сформированных экзарационной и аккумулятивной деятельностью покровных и горных ледников. Они подразделяются на:

*троговые* - (оз. Женевское, Карелия, Скандинавия)

*каровые и цирковые* (Альпы, Кавказ)

*моренные* (север России, США, Канады)

*надледниковые* на языках ледников (Кавказ, оз. Комо в Альпах)

4. *Карстовые* - образующиеся в отрицательных формах рельефа, связанных с растворяющей деятельностью вод (Крым, Кавказ – Рица)

5. *Метеоритные* - образующиеся в результате ударного воздействия космических тел (оз. Каали в Эстонии)

6*. Термокарстовые* - образующиеся в деятельном слое многолетней мерзлоты (тундра, лесотундра, северная тайга)

7. *Суффозионные* - образующиеся в просадках при механическом вымывании мелких грунтов (Зап. Сибирь – оз. Чаны)

8. *Речные* - образующиеся в результате водно-эрозионной и водно-аккумулятивной деятельности постоянных водотоков. К ним относятся: озера-старицы, пластовые, дельтовые, долинные водоемы.

9. *Обвально-подпрудные* – сформированные в горах в результате перегораживания речных долин обвально-оползневыми телами (Сарезское на Памире, Амткели на Кавказе)

10. *Морские* - образующиеся в результате отчленения от морской акватории песчаными отложениями частей заливов, бухт, эстуариев. Выделяют озера-лиманы (затопленные долины рек) и озера-лагуны (участки акватории, отчлененные барами и косами от моря).

11. *Эоловые* - образующиеся в котловинах выдувания и между дюн (оз. Теке в Казахстане).

12. *Органогенные* - внутриболотные озера и озера-лагуны внутри атоллов.

Озера также можно классифицировать по размеру:

*очень большие* - с площадью более 1000 км2 (Балхаш, Байкал);

*большие* -101-1000 км2 (Ильмень);

*средние* - 10-100 км2;

*малые* - менее 10 км2.

**§ 3. Морфология и морфометрия озер**

В озере выделяются следующие основные морфологические элементы:

• *Котловина* - это естественное понижение земной поверхности разного генезиса, в пределах которого и расположено озеро;

• *Ложе (или чаша)* озера – понижение, непосредственно занятое водой.

В котловине по направлению от берега вглубь озера различаются береговая и глубинная (пелагиаль) области.

*Береговая область* включает три зоны (рис. 15):

♦ Собственно берег – часть суши, окружающая озеро и представленная бровкой и береговым склоном. Граница основания склона проводится по максимальному уровню волно-прибойной деятельности.

Рис. 15. Схема озерной котловины (а) и ее береговой области (б)

1 – котловина; 2 – ложе (чаша); 3 – береговая область: 4 – береговой уступ, 5 – побережье, 6 – береговая отмель, 7 и 8 – абразионная и аккумулятивная части береговой отмели, 9 – подводный откос, 10 и 11 – низший и высший уровни воды, 12 – коренные породы, 13 – начальный профиль берега

♦ Побережье – это зона прибойной полосы, включающая сухое, затопляемое и подводное побережье.

♦ Береговая отмель - это подводная терраса, опускающаяся в сторону озерной впадины и состоящая из абразионной и аккумулятивной отмели. Последняя оканчивается бровкой подводного откоса.

Побережье и береговую отмель часто объединяют в одну зону называемую *литоралью*.

*Глубинная область (пелагиаль)* занимает глубокую часть озера, недоступную волнению. Донную часть озера называют *профундалью*.

В пределах ложа озера выделяются такие морфологические элементы, как плесы, заливы, бухты, губы.

К морфометрическим характеристикамозера относятся:

• *Площадь водной поверхности* *(зеркала; F)* рассчитывается как средняя многолетняя величина, но может изменяться в зависимости от фазы водности, питающих озеро рек.

• *Длина озера, l* – кратчайшее расстояние между двумя наиболее удаленными точками береговой линии, измеренное по поверхности.

• *Максимальная ширина озера, Bmax* – перпендикуляр к длине озера в наиболее широкой его части.

• *Средняя ширина, Bcp* – частное от деления площади зеркала озера на его длину.

• *Максимальная глубина, Hmax*– определяется по журналу промера глубин.

• *Средняя глубина, Hcp* – частное от деления объема озера на площадь его зеркала.

• *Длина береговой линии, L,* измеряется по нулевой изобате.

• *Изрезанность береговой линии, k,* определяется путем сравнения с длиной окружности круга, равновеликого по площади, согласно формуле:

* .*

• *Объем озера* (объем котловины, заполненный водой до определенного уровня) - вычисляется как сумма отдельных слоев котловины, заключенных между горизонтальными плоскостями, проведенными друг от друга на расстоянии h, где h – мощность элементарного слоя (сечение изобат):

*,*

где Fi, Fi+1 , Fn, Fn+1 – площади, ограниченные изобатами.

• *Форма озерной котловины, С –* безразмерный показатель, позволяющий определять степень приближения формы озера к геометрическим фигурам (цилиндр С=2; полусфера С=1,78; параболлоид С=1,5; конус С=1,33). Вычисляется по формуле Муравейского С.Д., как отношение средней глубины озера к глубине положения центра тяжести озерных вод.

Связи между отдельными характеристиками определяют кривые площадей, объемов и средних глубин озера. Подробно морфометрические характеристики рассматриваются на лабораторных занятиях.

**§ 4. Водный баланс озер**

*Водный баланс озера* – это равновесное состояние между количеством воды, поступающим в озеро (питание), количеством, удаляемым из водоема (расходование) и изменением водной массы озера за некоторый промежуток времени.

В упрощенном виде уравнение водного баланса выглядит следующим образом:

*Х + Урп + Усбр + Zконд + Wnp = Уpc + Увдсб + Zucn + Wф ± Δu*

Приходная часть:

X - атмосферные осадки;

Урп - речной приток;

Усбр - антропогенный приток или сброс сточных вод;

Zконд - конденсация водяного пара на зеркало озера;

Wnp - подземный приток.

Расходная часть:

Уpc - речной сток;

Увдсб - антропогенный водозабор на орошение, водоснабжение;

Zиcn - испарение с поверхности озера;

Wф - подземный отток (фильтрация);

Δu- изменение запасов воды в озере.

Нарушение водного баланса озер за счет изменения показателя Δu ведет к изменению коэффициента озерности, аридизации или гумидизации ландшафтов региона. Среди составляющих приходной и расходной частей уравнения водного баланса всё большую роль приобретает антропогенный фактор.

§ **5. Водный режим озера**

*Водным режимом озера* называются закономерные изменения уровня воды, площади, объема вод, а также характеристик течений, волнений и перемешиваний в озере.

Главнейшими характеристиками водного режима озера являются колебания уровня воды в озере. Они подразделяются на несколько групп по причинам, вызывающим их.

*Вековые и многолетние колебания уровня озер* связаны с изменениями составляющих водного баланса озер (притока речных вод, осадков и т.д.) и с изменением объема (массы) воды в озере, обусловленных климатическими причинами. Например, в Евразии установлены вековые колебания уровня озер и повышенная увлажненность территорий с периодом 1850 лет. Общеизвестны вековые и многолетние колебания уровней Каспийского и Аральского морей, связанные с климатическими факторами (колебанием увлажненности регионов). В случае Аральского моря дополнительной причиной ускорения падения уровня моря является антропогенный фактор, а именно, большой забор вод рек Амударьи и Сырдарьи на орошение.

*Сезонные колебания уровня озер* связаны с изменениями водного баланса, определяемыми внутригодовым режимом. Озера, питающиеся водами с ледников (Телецкое, Иссык-Куль) имеют максимальный уровень во вторую половину лета. Озера северной и средней полосы Европы (Онежское, Плещеево) имеют подъем уровня весной в период снегового половодья на реках. В области муссонного климата повышенные уровни наблюдаются летом и осенью. В условиях засушливого климата (Казахстан и др.) резко выражен ранний весенний подъем уровня озер (до 4 м) и быстрый спад в первую половину лета. В целом амплитуда колебаний уровней озер в течение года различна, меняется от нескольких см до 2-3 м , реже более 7 м.

*Сгонно-нагонные колебания уровней* зависят от направления и скорости ветра и от колебаний атмосферного давления. Это кратковременные колебания (несколько часов до 2-3 суток) с амплитудами от нескольких дециметров до 1-2 м. Воздействие ветра вызывает повышение уровня воды у наветренного берега, т.е. *нагон*, а такие понижения уровня у подветренного берега озера, т.е. *сгон.* Незначительные перекосы уровня (несколько см) вызываются и неравномерным распределением атмосферного давления по типу «обратного барометра». Уровень воды повышается при понижении атмосферного давления.

Основной причиной волнения на озерах является ветер. В связи с небольшими размерами и глубиной водоема волнение на озерах имеет особенности по сравнению с морским. Волнение быстро возникает и быстро затухает. Волны обычно трехмерные (фронта волны нет), более крутые, с меньшей высотой (обычно 0,5 м , реже до 3-6 м). Крутизна - это отношение высоты волны к ее длине. На озерах она равна 0,1.

*Сейши*- это стоячие свободные волны, возникающие под влиянием изменения атмосферного давления над озером. Эти колебательные движения не имеют поступательного характера и представляют лишь вертикальные колебания, при которых в одном месте происходит подъем, а в другом - опускание уровня воды (рис. 16). Пункты, где колебания максимальны называются *пучностями*, а линии где нет колебаний *- узлами*. Различают одноузловые и многоузловые (2, 3 и т.д.) сейши.



Рис. 16. Схема изменения уровней воды в озере при одноузловой (А) и двухузловой (Б) сейшах

Амплитуда сейш составляет от нескольких см до десятков см, периоды - от 5-10 мин. до нескольких часов (редко суток).

*Течения в озерах*обусловлены несколькими причинами и поэтому различают разные виды течений.

а) *Ветровые течения* вызываются ветром, и их скорость (Vв) равна Vв = KWв, где Wв - скорость ветра (м/с), К - ветровой коэффициент, равный 0,01-0,02. В среднем Vв = 0,5 м/с.

б) *Компенсационные течения* возникают в результате сгонно-нагонной денивеляции уровня озера, вызываемой ветром. Они развиваются ниже поверхностного слоя и направлены противоположно ветровым течениям.

в) *Сейшевые течения* возникают после прекращения ветра на многих озерах.

г) *Гравитационные (стоковые) течения* возникают при перекосе уровня воды от втекающих в озеро рек. Их средняя скорость составляет 1-2 м/с.

д) *Плотностные течения* возникают вследствиенеравномерного распределения температуры по пространству озера. Термические неоднородности создают горизонтальные градиенты плотности и перекосы уровня. В период нагревания температура воды вблизи берегов выше, чем в середине озера. Это создает горизонтальную циркуляцию против часовой стрелки (под влиянием силы Кориолиса). В период охлаждения проходят обратные явления. Скорости этих течений 0,3-0,5 м/с.

е) *Конвективное перемешивание* в озерахвызывается также весенним нагреванием или осенним охлаждением.

**§ 6. Термический режим озера**

Для озер умеренного климата выделяется две крупные термические фазы: *нагревание (весеннее и летнее)* и *охлаждение (осеннее и зимнее*). Весеннее нагревание начинается с появлением положительных температур весной. В это время на поверхности озера лежит лед, а верхние слои воды имеют самую низкую температуру. Такая термическая ситуация получила название *обратной стратификации* (стратис - слой). Весеннее нагревание длится до тех пор, пока верхние слои воды не прогреются до температуры нижних. Как только температура воды во всем озере выровняется и наступит состояние *гомотермии*, начинается период летнего нагревания. В это время активный прогрев верхних слоев воды приводит к образованию *прямой стратификации,* т.е. увеличению температуры воды в озере от дна к поверхности. В этот период наблюдается расслоение озерных водна 3 термические зоны (рис. 17):



Рис. 17. Вертикальные термические зоны в озерах умеренного пояса

1 – изменение температуры по глубине, 2 – изменение градиента температуры по глубине.

* *Гиполимнион* – нижний слой с холодной «весенней» водой;
* *Металимнион*– слой температурного скачка, где вертикальный градиент температуры может достигать 8-100С на 1 м глубины.
* *Эпилимнион* – поверхностный, наиболее теплый слой воды.

Осеннее охлаждение начинается с устойчивого снижения среднесуточных температур воздуха ниже температуры поверхностных слоев озера и заканчивается гомотермией вод. Дальнейшее зимнее охлаждение поверхностных вод приводит к активной вертикальной конвекции, когда уплотнившиеся вследствие охлаждения и ставшие более тяжелыми поверхностные воды опускаются на дно и вытесняют на поверхность менее плотные и более легкие донные воды. Таким образом, в озере формируется *обратная термическая стратификация*.

Термический режим озер обуславливает формирование в них двух областей. В теплоактивной, прибрежной области в связи с меньшими глубинами вода быстро нагревается (выше +4°С) и быстрее охлаждается (ниже +4°С) по сравнению с теплоинертной областью центральной части озера. Между этими областями появляется вертикальный пояс с температурой наибольшей плотности воды +4°С, где плотная вода опускается. Этот пояс носит название *«термический бар».* Он виден с поверхности в виде узкой светлой полосы весной и осенью. Это своеобразный тепловой и динамический барьер между прибрежными и центральными водами озера. Впервые это явление описано Ф. Форелем в 1901 г. в Женевском озере (Швейцария).

*Термическая классификация озер*впервые предложена Ф. Форелем, а позднее уточнена многими учеными. Выделены группы озер:

*Полярные* - с температурой в течение года ниже +4°С и с обратной стратификацией.

*Тропические* - с температурой выше +4°С и постоянной прямой стратификацией.

*Умеренные* - с температурой зимой ниже +4°С и весной-летом - выше +4°С и с переменной температурной стратификацией.

По характеру ледовых явлений выделяют четыре группы озер:

- озера, не имеющие ледовых явлений (экваториальные и тропические регионы),

- озера с неустойчивым ледоставом (южные регионы умеренного пояса),

- озера с устойчивым ледоставом зимой (умеренный пояс),

- озера с ледоставом в течение всего года (районы Крайнего Севера).

**§ 7.** **Ледовый режим озер**

В ледовом режиме озер, как и у рек, выделяются три характерных периода - *замерзание, ледостав и вскрытие*, во время которых происходят аналогичные речным ледовые явления. В период замерзания образуются забереги (припаи), сало, внутриводный лед, ледяные наплески на пляжах, ледяные валы на отмелях («сокуи» на Байкале высотой до 3 м), ледяная галька в прибойной зоне («колобовники» на Байкале).

Ледостав на больших озерах формируется 2-3 месяца, завершаясь в январе, а на малых озерах - в течение нескольких дней.

Ледяной покров состоит из нескольких видов озерного льда:

*- водный (озеровидный)* - это прозрачный кристаллический лед,

*- водно-снеговой* лед - мутный, непрозрачный, беловатый, образующийся при смерзании пропитанного водой снега. Он называется «наслузом».

*- снеговой* лед, образующийся при подтаивании снега на поверхности с последующим замерзанием.

Толщина льда в Северной Евразии - 0,5-2 м, иногда до 3 м, в южных районах - всего несколько см.

Вскрытие озер в Европе на 7-14 дней позже, чем вскрытие рек.

**§ 8.** **Гидрохимические характеристики озер**

К основным гидрохимическим характеристикам озер относятся минерализация и химический состав. Согласно классификации озер по минерализации озера подразделяются на:

*Пресные (пресноводные)* - с соленостью менее 1‰

*Солоноватые -* 1-25‰

*Соленые (соляные, минеральные)* - более 25-50‰

*Рапные* - более 50‰.

Среди последних выделяют самосадочные озера, в которых естественным путем достигнуто такое насыщение водного раствора, что идет осаждение солей, выпадение их в осадок.

Минерализация вод некоторых крупных озер следующая:

Онежское, Ладожское, Байкал - менее 1‰

Севан - 0,7‰

Балхаш - 1,2-4,2‰

Иссык-Куль - 5-8‰

Каспий - 10-12‰

Арал - более 25-30‰

Эльтон, Баскунчак, Мертвое море - 200-300‰

Восточный Сиваш - 13-40‰

Западный Сиваш - 128-205‰

Сакское, Мойнакское - 55-202‰

В распределении химического состава озерных вод прослеживается подчиненность закономерностям широтной зональности и секторности. Это проявляется в увеличении минерализации воды озер с севера на юг и от менее засушливых районов к более засушливым (для СНГ).

И в том же направлении воды из гидрокарбонатного класса переходят в сульфатный и затем в хлоридный, а из кальциевой группы в магниевую и затем в натриевую по схеме:

HCO3- → SO42- → Cl-

Ca2+ → Mg2+ → Na-

В воде озер тундры преобладают ионы HCO3- и Si+;

В озерах лесной зоны - HCO3- и Са2+;

В озерах степной зоны - SO42+, НСО3-, Na+, К+;

В озерах пустыни – Сl-, Na+

Самосадочные озера по химическому составу подразделяются на:

*- Карбонатные*, где осаждается сода Nа2СО3∙10Н2O (озера Кулундинской степи и др.)

- *Сульфатные* с мирабилитом Na2SO4∙10H2O и эпсомитом MgSO4∙7Н2О (Кара-Богаз-Гол)

- *Хлоридные* с галитом NaCl (Баскунчак).

Помимо растворенных солей вода озер содержит биогенные вещества (соединения N, Р, Si, Fe), газы (О2, N2, CO2, H2S), органические вещества и антропогенные загрязнители (нитраты, пестициды), в основном из сточных вод и возвратных вод орошения.

**§ 9.** **Гидробиологические характеристики озер**

Озера богаты водными организмами - гидробионтами. По условиям питания водных организмов в водоемах озера подразделяются на:

*Евтрофные* (с греческого ев – много; трофос - питание) - с большим содержанием биогенных веществ, используемых гидробионтами. Эти водоемы неглубокие, цвет воды желто-бурый (средняя полоса Европы). Много фитопланктона.

*Мезотрофные* (мезо - средне) - средние трофические условия.

*Олиготрофные* (олигос - мало) - с малым количеством биогенных элементов, планктона, но богатые кислородом. Часто глубокие, прозрачные, голубые по цвету (горные озера Кавказа, Альп).

*Дистрофные* (дис - недостаточно) бедны кислородом и питательными веществами для водных организмов, преобладают гуминовые кислоты, вода бурая. Есть слой торфа. Озера расположены среди болотных ландшафтов.

Сброс в озера сточных вод и вод с орошаемых земель приводит к антропогенному евтрофированию озер.

В условиях умеренного климата в озерах весной и во второй половине лета происходит бурное развитие фитопланктона, вызывающее «цветение» воды озер.

Свойство озер воспроизводить органическое вещество (биомассу) в виде живых организмов (особенно рыб) называется биологической продуктивностью.

**§ 10. Донные отложения в озерах**

Аккумуляция наносов на дне ведет к формированию донных отложений, которые по происхождению подразделяются на 3 группы:

а) *терригенные* *отложения* (механические осадочные породы из минеральных частиц)

б) *биогенные (илы)*

в) *хемогенные (соли)*

Озерные илы состоят из тонких минеральных и органических частиц, образующихся при сложных химических и биологических процессах на дне озера. В илообразовании большую роль играют микроорганизмы бактериально-грибковой флоры.

В озерах различных генетических типов встречаются несколько видов озерных илов.

*Сапропель -* это малозольный ил евтрофных озер в виде коллоидно-аморфной массы с неразмывающейся органикой, серого или черного цветов с зеленым оттенком. Это обычно жирная на ощупь, пахучая грязь. Мощность сапропеля - первые метры, иногда до 30-40 м. Именно сапропели преобразуются при метаморфизме и углефикации в сапропелевые угли: богхед, кеннель и полудрагоценный камень - гагат (Бешуйское месторождение в Крыму).

*Торфянистый ил* характерен для озер дистрофного типа в заболоченных ландшафтах. Содержит остатки мхов и древесной растительности. Цвет ила - бурый.

Органические илы образуются в центральных частях озер, а терригенные озерные осадки (пески, глины) - на литорали.

В зависимости от литологии регионов, в озерах образуются следующие виды илов:

*Кремнеземистые илы* (со створками диатомовых водорослей)

*Известковые илы*

*Глинистые илы*

*Озерные железные руды лимонитового типа*.

Полезные ископаемые озер весьма многочисленны и разнообразны. Донные отложения минеральных солей (минеральная соль, мирабилит, сода, сильвин, бром, гипс) используются в качестве сырья для химической промышленности. Органические илы - грязи применяются в бальнеологии. Например, в Крыму - это черные илы Сакского, Мойнакского озер, оз. Чокрак. Добыча солей ведется на озерах Сакском, Старом, Красном, Мойнакском, Сасык-Сивашском.

**§ 11. Влияние озер на природную среду и их практическое значение**

Влияние озер на природную среду проявляется главным образом через речной сток и заключается в замедлении водо-, тепло- и солеобмена в гидрографической сети. В самом деле, объем воды в озерах мира 176,4 тыс. км3, в то время как в реках лишь 2,12 тыс. км3. Чем больше озерность речного бассейна, тем медленнее водообмен в сети. Озера оказывают влияние не только на сток воды, но и на сток солей, наносов, тепла.

Озера суши оказывают заметное влияние на климат (микроклимат), уменьшая его континентальность, увеличивая продолжительность весны и осени, материковый влагооборот, способствуя повышению осадков, появлению туманов. Озера повышают уровень грунтовых вод, влияют на почвенно-растительный покров.

Практическое значение озер для народного хозяйства велико. Озера широко используются для рыбного хозяйства, водного транспорта, добычи минерального сырья, массового отдыха, туризма и спорта. В соленых озерах добывают пищевую соль. Важно отметить необходимость комплексного и рационального использования водных, земельных, минеральных, рыбных и других ресурсов озер с научным учетом экологических последствий для озера и региона.

Нерациональное использование водных ресурсов и сокращение стока рек в озера уже принесли значительный экологический ущерб крупным озерам Иссык-Куль, Севан, Балхаш и др. особенно показательно это выявилось в экологической катастрофе Аральского моря-озера.