

**Секция III. ОЗЕРА РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ  
ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЙ**

**РОЛЬ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ  
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД  
ГУМИДНОЙ ЗОНЫ  
(на примере озер Карелии)**

Белкина Н.А.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск  
bell10863@mail.ru

Донные отложения являются геологическими архивами, в которых содержится информация об изменении озерных экосистем под влиянием природно-климатических и антропогенных факторов на протяжении всей истории водоема. Умеренно-континентальный климат и состав пород Фенноскандинавского щита являются главными внешними факторами, обуславливающими железо-кремнегумусовый тип седиментогенеза в озерах Карелии. Многообразие сочетания геологических, гидрологических, химических и биологических условий, как в самом водоеме, так и на водосборе, становится причиной формирования осадков разного генезиса. На территории республики встречаются водоемы с элементами всех типов озерного накопления [1-9]. Органические донные отложения накапливаются в небольших эвтрофных и мезотрофных водоемах. В малых озерах широко распространены сапропели, встречаются диатомиты и озерные известки. В процесс накопления донных отложений высоко проточных озер наибольший вклад вносят терригенные взвеси и хемогенные ожелезненные образования. Ранее были рассчитаны средние показатели химического состава донных отложений аккумуляционных зон 105 озер Карелии площадью от 1 до 100 км<sup>2</sup>. Содержание органического вещества (ОВ) в иловых осадках изменяется от 2 до 60%. Средние концентрации органического углерода ( $C_{орг.}$ ), органического азота ( $N_{орг.}$ ), фосфора общего ( $P_{общ.}$ ), железа и марганца равны 12; 1; 0,2; 2 и 0,4 %, соответственно. Углерод гуминовых и фульвовых кислот составляет от 8 до 54%  $C_{орг.}$ , причем в эвтрофных водоемах преобладают гуминовые кислоты, в мезотрофных – фульвовые кислоты. Пигментный фон донных отложений представлен в основном хлорофиллом *A* и феофитином,

максимальные концентрации которых наблюдаются в эвтрофных (до 1000 мкг/г), минимальные (10 мкг/г) – в олиготрофных водоемах. Сопоставление химического состава донных отложений с типами вод, показало, что накопление  $OB$  и  $N_{орг}$  в донных отложениях соответствует трофическому статусу водоема и закономерно увеличивается от олиготрофного типа к эвтрофному. Их максимальное содержание обнаружено в высокогумусных водоемах с карбонатным классом вод группы кальция, минимальное – в мезогумусных слабощелочных слабокислых озерах с карбонатным типом вод группы кальция и натрия. Для фосфора подобной закономерности не выявлено. Его содержание согласуется с накоплением железа в донных отложениях [9].

Донные отложения больших водоемов (Онежского и Ладожского озер) отличаются разнообразием и пестротой распределения: в центральных районах в настоящее время накапливаются минеральные хемогенные осадки, в малых продуктивных заливах – осадки, обогащенные органическим веществом, в районах впадения рек оседают речные наносы. Донные отложения, загрязненные взвешенным материалом сточных вод, формируются в заливах, на берегах которых расположены крупные промышленные центры [9-11].

Донные отложения, являясь конечным продуктом сложного баланса вещества и энергии водоема, выполняют не только накопительную функцию. В процессе диагенетических преобразований седиментационного материала часть вещества возвращается в водную толщу. В отличие от водного раствора реакции в осадках протекают медленно, в связи с более низкими температурами и гетерогенностью системы равновесие устанавливается не сразу, а за более длительный промежуток времени. На трансформацию вещества в донных отложениях оказывают влияние физико-географические условия среды осадкообразования; скорость осадконакопления; минералогический и химический состав абиогенного материала; количественный и качественный состав органического вещества; поступающего в донные отложения; деятельность донных организмов, участвующих в процессе его трансформации. Вопрос о роли донных отложений в формировании химического состава поверхностных вод гумидной зоны остается открытым.

Целью данной работы является изучение особенностей процессов, протекающих на границе «вода – донные отложения» и влияющих на химический состав озерных вод. Химические анализы вы-

полнены в лаборатории ИВПС Карельского научного центра РАН по общепринятым методикам, данные химического состава донных отложений рассчитаны на воздушно-сухой вес.

Процессы разложения ОВ, доминирующие на стадии первичного диагенеза, определяют интенсивность потоков вещества на границе «вода – донные отложения» и, следовательно, влияют на химический состав придонных вод: газовый состав, ионный состав, содержание биогенных элементов и микроэлементов. Окислительно-восстановительное состояние поверхностного слоя донных отложений зависит от присутствия кислорода в придонной воде и количественного и качественного состава ОВ, поступающего на дно. Окислительный тип диагенеза донных отложений, формирующийся при малых скоростях осадконакопления в центральных районах больших озер, приводит к разделению окислительно-восстановительных реакций по глубине колонки: потреблением кислорода – в поверхностном слое, redox-реакции марганца, затем железа – на геохимическом барьере. Благодаря окраске соединений Fe и Mn зону каждой реакции можно выделить визуально. Рудные прослойки препятствуют транспорту веществ из толщи донных отложений, поэтому основным процессом, формирующим поток вещества из донных отложений в воду, является биохимическое окисление ОВ и восстановленных форм Fe, Mn, протекающее в поверхностном слое с участием кислорода. Именно в этом «наилке» происходят наибольшие концентрационные изменения растворенных форм биогенных элементов. Процесс сопровождается увеличением  $\text{CO}_2$  в надилловой воде (рис. 1). В поверхностном слое осадка накапливаются микроэлементы; растворения минеральной части донных отложений не происходит.

Второй тип диагенеза – восстановительный формируется в донных отложениях небольших озер. Высокие скорости осадконакопления, небольшие глубины приводят к тому, что степень трансформации ОВ много ниже, чем в больших озерах. Визуально это темные илы зеленых оттенков. В эвтрофных озерах цвет ила более темный, почти черный; в олиготрофных озерах преобладают серые и коричневые тона. В отличие от больших водоемов, процессы образования рудных слоев в аккумуляционных зонах наблюдаются редко. Накопление железа и марганца происходит на склоновых участках дна. В олиготрофном озере основная масса органического вещества минерализуется на границе «вода – дно». В мезотрофном

водоеме этот процесс проходит в поверхностном, окисленном слое донных отложений. Значительная доля органического вещества в эвтрофном водоеме разлагается в анаэробных условиях. Количественная оценка этого процесса в донных отложениях показала, что скорость разложения изменяется от 0.1 до 100 мг на квадратный метр углерода в сутки.

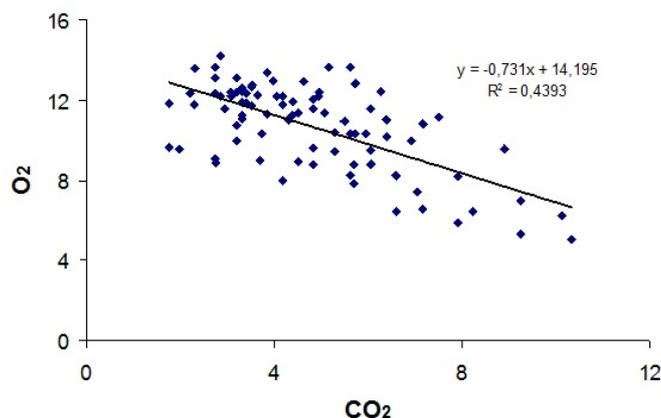


Рис. 1 – O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в надилловых водах Онежского озера, мг/л

Интенсивность обменных процессов на границе раздела «вода – дно» увеличивается с ростом трофического уровня водоема. Величина биогенной нагрузки для озер изменяется в пределах от 0.001 до 4 мг P на кв. м в сутки и от 0.05 до 40 мг N на кв. м в сутки в виде нитратов или аммония. Поглощение кислорода донными отложениями также зависит от трофического статуса водоема и колеблется от 0.01 до 0.1 г O<sub>2</sub> · м<sup>-2</sup> · сутки<sup>-1</sup> для олиготрофных, от 0.1 до 1 г кислорода для мезотрофных озер и более 1 г кислорода для эвтрофных озер [9]. Разложение органического вещества в толще осадка в анаэробных условиях приводит к увеличению поступления из донных отложений в воду не только P и N, но и восстановленных форм Fe, Mn, S, что оказывает значительное влияние на кислородный режим водоема. Понижение pH в результате разложения ОВ влияет на растворение минеральной части осадка. Все перечисленные процессы могут приводить к значительному изменению химического состава придонных вод.

Необходимо также отметить, что высокие скорости седиментации в зонах влияния сточных вод предприятий целлюлозно-бумаж-

ной промышленности в заливах Онежского и Ладожского озер способствуют аккумуляции продуктов неполного окисления ОВ и созданию в донных отложениях восстановительных условий. Основными признаками антропогенного влияния на донные отложения является сокращение окисленного слоя, снижение  $pH$  и  $Eh$ . Значения плотности потоков веществ из техногенных накоплений в Кондопожской губе Онежского озера, в Питкярантском и Сортавальском заливах Ладожского озера соответствуют осадкам, типичным для эвтрофных водоемов [12-14].

В заключение следует подчеркнуть, что степень влияния донных отложений на химический состав вод определяется не только количественным и качественным составом взвесей, поступающих в водоем, морфометрическими и гидрологическими свойствами озера, но и его трофическим статусом, формирующим геохимическую среду озерной седиментации и изменчивость кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных обстановок. Для водоемов гумидной зоны количественный и качественный состав органического вещества и процессы его разложения в донных отложениях определяют степень их влияния на газовый, ионный, биогенный и микроэлементный состав придонных вод. Поглощение кислорода донными отложениями и интенсивность обменных процессов на границе раздела «вода – дно» увеличивается с ростом трофического уровня водоема.

### Литература

1. *Перфильев Б.В.* Микроразнообразие строения иловых озерных отложений и методы его исследования. Л. Наука. 1972 г. 216с.
2. *Семенович Н.И.* Донные отложения Ладожского озера. М.-Л.: Наука, 1966. 124 с.
3. *Семенович Н.И.* Донные отложения Онежского озера.– Л.: Наука, 1973. 102 с.
4. *Васильева Е.П.* Донные отложения // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 147-175.
5. *Васильева Е.П., Давыдова Н.Н., Белкина Н.А.* Особенности формирования донных отложений // Онежское озеро, экологические проблемы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. С. 109-145.

6. Демидов И.Н., Шелехова Т.С. Диатомиты Карелии (особенности формирования, распространения, перспективы использования). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006, 89 с.

1. Синькевич Е.И., Экман И.М. Донные отложения озер восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. 1995. КарНЦ РАН. Петрозаводск. 176 с.

2. Озера Карелии. Справочник/ Под. ред. Н.Н. Филатова, В.И. Кухарева. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

3. Белкина Н.А. Роль донных отложений в процессах трансформации органического вещества и биогенных элементов в озерных экосистемах // Водные проблемы Севера и пути их решения / Труды Карельского научного центра РАН. 2011. №4 С. 35-41.

4. Современное состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга в 1992-1997 гг./ Под. ред. Лозовика П.А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 188 с.

5. Состояние водных объектов республики Карелия. По результатам мониторинга в 1998–2006 гг./ Под. ред. Лозовика П.А. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 210 с.

6. Белкина Н.А. Изменение окислительно-восстановительного состояния озерных донных отложений под влиянием антропогенных факторов (на примере Ладожского и Онежского озер) // Общество. Среда. Развитие. 2014, № 3. С.152-158.

7. Белкина Н.А. Ретроспективная оценка состояния донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 41, №3. С. 258-268.

8. Белкина Н.А. Ретроспективная оценка донных отложений Кондопожской губы Онежского озера // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, №6. С. 689-699.

## **РЕСУРСЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРЕЛИИ**

Бородулина Г.С.,  
Институт водных проблем Севера Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск  
bor6805@yandex.ru

Традиционным и основным источником водоснабжения в Карелии являются поверхностные воды. Все поверхностные водозаборы расположены в непосредственной близости к населенным и промышленным зонам, и сточные воды сбрасываются в эти же во-