

## Осаждение фосфора в озерах

Стен-Ёке Карлссон, Vattenresurs, Tjusta, SE-19793 Bro, Sweden  
 sac@vrab.se, +46 8 584 807 70

### Метод

Осаждение как метод восстановления был разработан в Швеции в 1960-х и 70-х годах. Тогда он использовался неправильно с низкой дозировкой, или в озерах, где преобладали внешние нагрузки. В связи с этим применение метода не было успешным.

В США этот метод применяется с конца 70-х годов как метод восстановления на ряде озер и дает хорошие результаты.

Американское Агентство по Охране Окружающей Среды в своем Руководстве по восстановлению озер оценило этот метод как экономически эффективный и оказывающий как долгосрочное, так и краткосрочное

положительное воздействие при низкой степени риска. Это делает его наиболее экономически эффективным методом восстановления эвтрофных озер. Американский метод более грубый, потому что вы наносите алюминий в виде сульфата с поверхности, и он воздействует на всю толщу воды и находящиеся в ней организмы. Дозировка разработана таким образом, чтобы снизить pH до 6-6,5.

В Швеции осаждение применялось на *озере Лейондал*. Здесь компания *Vattenresurs AB* разработала высокоточный метод, при котором обрабатывались только донные воды, что приводило лишь к незначительному снижению pH. Было важно не оказывать воздействия на мелководные донные участки и поверхностные воды. Этот метод также применялся в *Багарсьён* в *Наска* и на озере *Флатен* в *Стокгольме*.

При этом методе используется хлорид алюминия, который обычно применяется для очистки питьевой воды. Это снижает pH не более чем на 0.3 единицы. Единственными обработанными участками *озера Лейондал* были обедненные кислородом донные участки. Фактически обрабатывались участки глубже 10 метров, составляющие 1/3 от общей площади озера. *Озеро Лейондал* является вторичным с точки зрения водоснабжения; оно имеет большую природную и рекреационную ценность. Озеро также богато раками - *Astacus astacus*. (Раки играют важную роль в шведской гастрономической культуре и, следовательно, имеют большую экономическую ценность. Раки также чувствительны к закислению).

### Химия природы

Земная кора содержит большое количество кремния и алюминия. Содержание алюминия составляет 8%. Часто встречаются такие минералы, как железо и кальций. Вот почему эти щелочноземельные металлы так широко распространены в почве, воде и осадках. Они водорастворимы, и поэтому могут переноситься с суши поверхностными и грунтовыми водами в водотоки и, наконец, осаждаются в осадках. Они являются важными компонентами осадков и необходимы для живых организмов. Во всех водах щелочноземельные металлы, такие как железо, марганец, алюминий и кальций естественно осаждают фосфор. Связь фосфора с железом/марганцем разрушается при низком уровне кислорода, и с этого момента железо в основном соединяется с очень низко растворимым сульфидом. Это приводит к недостатку фосфора, связывающего металлы, и повышению содержания фосфора в воде. Для того чтобы кальций эффективно осаждал фосфор, требуется очень высокий pH. Алюминий образует прочные связи с фосфором и нерастворим при недостатке кислорода. Вот почему, алюминий хорошо использовать для обработки донных вод при истощении кислорода.



## Химизм алюминия

В воде алюминий встречается в различных формах. В кислой среде (pH <5.5) алюминий растворим в виде ионов  $Al^{3+}$ .

При более высоком pH (до pH 9-10) алюминий

присоединяется к различным комплексам, например, содержащим фосфор и гидроокиси. При очень высоком pH алюминий растворим в виде ионов.

В закисленных озерах алюминий всегда растворим.

Не закисленные воды содержат небольшие количества свободного алюминия в связи с

присоединением к различным комплексам. Ион  $Al^{3+}$  токсичен в кислой среде. Если pH превышает 5.5, алюминий присоединяется и образует комплексы. Это – моментальная реакция, и именно так происходит флокуляция при добавлении алюминия к воде. Эти комплексы не токсичны.

Примером из повседневной жизни является кипячение пищи в алюминиевой кастрюле. Если вы варите что-то кислое, например, варенье, кастрюля начинает блестеть. Это связано с растворением оксидного слоя.

В эвтрофных озерах pH и щелочность в основном такие же, как в озере Лейондал. Эти типы озер имеют хорошую защитную зону и высокую толерантность к изменениям pH. Присутствие алюминия показано на Рисунке 1.

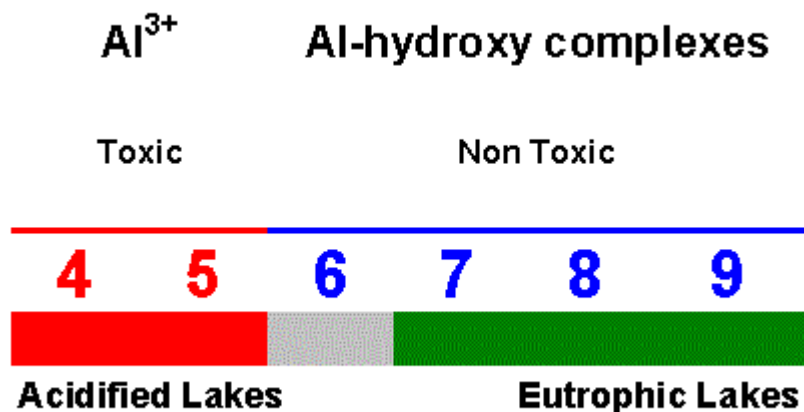


Рисунок 1. Присутствие алюминия при различных pH

## Алюминий в осадках до и после обработки

Как уже отмечалось, алюминий является одним из наиболее распространенных металлов в земной коре, почвах и осадках. Известно, что в сухом веществе осадков в эвтрофных озерах Швеции содержание алюминия составляет 2-4 %. Это означает, что поверхностный слой осадка (0-10 см) содержит тонны алюминия или несколько сотен граммов  $Al/m^2$ . Обработка 25-50 г  $Al/m^2$  дает сравнительно небольшую добавку.

## Экологическое воздействие

Почему считается, что метод, приводящий к снижению pH до 6-6.5 и осаждению всего объема воды, не будет иметь негативных последствий?

Непосредственное развитие различных комплексов алюминия гарантирует, что уровни алюминия никогда не будут повышаться до такой степени, чтобы вызывать нарушения. В США ученые изучили последствия обработки алюминием. Они исследовали планктон, донную фауну и рыб. Вы оказываете временное воздействие на планктон, который улавливается во флокулы при их осаждении. Донная фауна приспосабливается к новой среде, а личинки роют во флокулах ходы. Воздействие на фауну рыб изучено недостаточно хорошо. Изменения в целом отражают положительное развитие озерной экосистемы.

В Швеции имеется опыт изучения воздействия алюминия на рыб в закисленных озерах. Шведские ученые исследовали алюминий и рыб в закисленных озерах и обнаружили токсическое воздействие, но не при высоких значениях pH.

Опыт, накопленный в США и Швеции, показывает, что важно, чтобы значение pH находилось в пределах между 6 и 9, иначе будет наблюдаться негативное воздействие на окружающую среду. Риск негативного воздействия на раков и рыб незначителен, потому что эти животные обычно не обитают на тех участках, где происходит выпадение осадка. В результате обработки вода становится более прозрачной, и растительность может произрастать на большей глубине в озере, что полезно для раков и рыб. Именно это произошло в озерах Лейондал и Флатен.

Обычный вопрос: что произойдет, если озеро закислено? С окружающих участков будет поступать более количество алюминия.

Усилится выщелачивание из осадков. При этом сценарии при обработке поступает незначительное количество алюминия.

В Швеции часто сравнивается положительное и негативное воздействие в случае обработки закисленного озера известью. Это связано с тем шоком, которому подвергается озеро при обработке. После того, как через какое-то время озеро придет в состояние равновесия, условия в нем заметно улучшатся.

Другие методы восстановления, как, например, удаление осадков, предполагают значительное воздействие на большие объемы воды, когда прозрачность исчезает.

Необходимо сопоставить воздействие обработки с негативными последствиями ежегодного недостатка кислорода в озере летом и зимой. Именно в эти периоды обеднения кислородом образуется токсичный сероводород, убивающий организмы.

Можно сделать вывод, что местообитание организмов, переживших обеднение кислородом на более глубоких участках, может быть нарушено в связи с обработкой. Эти организмы будут повторно заселять дно после обработки. Именно это и произошло в озере Лейондал.

В конечном счете, добавленное количество алюминия будет просто минимальной добавкой к природному количеству, содержащемуся в осадке.

При принятии решения относительно того, как обрабатывать озеро, и стоит ли его обрабатывать, всегда необходимо сравнивать положительное и отрицательное воздействие.



Керн осадков

### Что произойдет с обработанным озером?

Во время обработки планктон пострадает в результате осаждения. Оно повлияет и на донную фауну. Рыбы и раки будут невредимыми. Это связано с тем, что в озере хороший уровень pH и щелочности, и, следовательно, воздействие является только механическим. После обработки у планктона меньше биогенных веществ для питания. Это приводит к изменениям, как в продуктивности, так и в видовом составе. Это – одна из целей обработки.

Обработка также приводит к снижению выщелачивания фосфора из осадка. Это уменьшает концентрацию по всей толще воды.

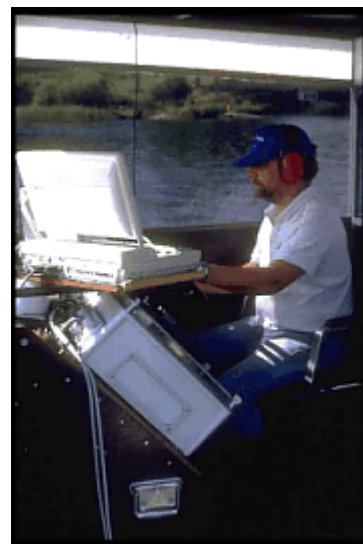
Поступление фосфора из окружающей среды будет оказывать решающее воздействие на длительность эффективности обработки. Необходимо учитывать все внешние источники фосфора для получения долгосрочной пользы от обработки.

В результате уменьшения содержания фосфора образование фитопланктона снизится, что приведет к увеличению глубины прозрачного слоя.

Снижение продуктивности приводит к снижению осадконакопления; это означает, что меньшие количества органического материала будут разлагаться, и меньше кислорода будет потребляться летом и зимой.

Таким образом, ситуация с кислородом во всем озере улучшится.

Пройдет несколько лет, прежде чем уровень кислорода в донных водах будет достаточным в течение всего летнего периода, а бескислородный период и бескислородные участки значительно сократятся.



Домик лоцмана на судне, с которого ведется осаждение

Вероятно, растущей под водой растительности будет полезно увеличение глубины прозрачного слоя. Ей питаются раки, и, наряду с повышением уровня кислорода, это значительно улучшит условия жизни. Таким образом, улучшится экологическое равновесие.

Видовой состав рыб в озере зависит от его трофического уровня. Небольшая глубина прозрачного слоя обычно благоприятствует карповым рыбам, таким как плотва и лещ. Более прозрачная вода обычно благоприятна для щуки, окуня и судака. Следовательно, улучшение качества воды будет полезно для популяций щуки и окуня в озере, подвергнутом обработке.

Рекреационная ценность зимой не изменится. Однако летом большая глубина прозрачного слоя, более крупные популяции раков, щуки и окуня значительно повысят рекреационную ценность как для купающихся, так и для рыбаков. Озеро в состоянии равновесия также очень важно для ландшафта.

## Список литературы

- Björklund, I., Haux, C., Hogstrand, C., Unger, M. och Öhrn, T. 1985. Bioackumulation i organ och förändringar av jonbalans hos öring vid påverkan av aluminium vid olika pH, humushalt och vattentemperatur. Naturvårdsverket, Rapport 3046.
- Cooke, G. D., Welch, E. B., Spencer, S. P. och Newroth, P. R. 1986. Lake and Reservoir Restoration. Butterworths, Boston.
- Dickson, W. 1983. Liming toxicity to fish. Vatten 39:400-404.
- Garrison, P.J. och Knauer, D.R. 1984. Long term evaluation of three alum treated lakes. Lake and reservoir management, EPA 440/5-84 -001, 513-517.
- Gelin, C. och Ripl, W. 1978. Nutrient decrease and response of various phytoplankton size fractions following the restoration of Lake Trummen, Sweden. Arch.-Hydrobiol., vol 81, nr. 3, s. 339-367.
- Hannerz, C. 1978. Data om sjörestaurering. Rapport från Jordbruksdepartementet, Ds Jo 1978:4
- Henriksen, A. Rosseland, B.O. och Skogheim, O.K. 1984. Episodic changes in pH and aluminum-speciation kill fish in Norwegian salmon river. Vatten 40:255-260.
- Håkansson, L och Jansson, M. 1983. Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin.
- James, W. F., Barko, J.W. och Taylor, W. D. 1991. Effects of alum treatment on phosphorus dynamics in a north-temperate reservoir. Hydrobiologia, vol. 215, nr. 3, s. 231-241.
- Kennedy, R.H. och Cooke, D.G. 1982. Control of phosphorus with aluminum sulfate. Dose determination and application techniques. Water Res Bull. 18:389-395
- Lamb, D. S. och Bailey, G. C. 1981. Acute and chronic effects of alum to midge larvae (Diptera: Chironomidae). Bulletin of environmental contamination and toxicology, vol. 27, nr. 1, s. 59-67.
- Lamb, D. S. och Bailey, G. C. 1983. Effects of aluminium sulfate to midge larvae (Diptera: Chironomidae) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Lake-Restoration-Protetction- and Management, s. 307-312. (Abstract)
- Lingdell, P-E. och Engblom E. 1985. Hur påverkar reningsverk med olika fällningskemikaler bottenfaunan. Statens naturvårdsverk SNV PM 1798.
- Mires, J. M., Soltero, R.A. och Keizur, G. R. 1981. Changes in the zooplankton community of Medical Lake, WA, subsequent to its restoration by a whole-lake alum treatment and the establishment of a trout fishery. Journal of Freshwater Ecology, vol.1, nr. 2, s.167-178.
- Narf R.P. 1990. Interactions of Chironomidae and Chaoboridae (Diptera) with aluminium sulfhte treated lakes. Lake and Reservoir Management, vol. 6, nr. 1, s.33-42.
- Petterson, K. och Wallsten, M. 1990. Sjörestaurering i Sverige - Metoder och resultat. Naturvårdsverket Rapport 3817.
- Pekkala, C. M. och Koopman, B. 1987. Effect of toxicants on algal sinking rates. Water, Air, and Soil Pollution, vol. 36, nr. 1-2, s. 155-162.
- Ramamoorthy, S. 1988. Effect of pH speciation and toxicity of aluminium to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciencies, vol. 45. nr. 4, s. 634-642.
- Schumaker, R. J., Funk, W. K och Moore, B.C. 1993. Zooplankton responses to aluminium sulfate treatment of Neman Lake, Washington. Journal of Freshwater Ecology, vol. 8, nr. 4, s. 375-387.
- Skogheim, O.K. och Wright, R.F. 1983. Aluminum speciation at the interface of an acid stream and limed lake. Vatten 39:301-304.
- Smeltzer, E. 1990. A successful alum/aluminate treatment of Lake Moray, Vermont. Lake and Reservoir Management, vol. 6, nr. 1, s. 9-19.
- Upplands-Bro kommun. 1972-2002. Sjöprovtagningsprogrammet - årliga rapporter
- US Environmental Protection Agency. 1990. The Lake and Reservoir Restoration Guidance Manual, EPA-440/4-90-006



Пляж на озере Багарсьён.  
На заднем плане – судно, с которого ведется  
обработка.