

И.Л.КУЗИН, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, onyak@mail.ru*
О.Н.ЯКОВЛЕВ, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, onyak@mail.ru*
Государственная полярная академия, Санкт-Петербург

I.L.KUZIN, *Dr. in geol. & min. sc., professor, onyak@mail.ru*
O.N.YAKOVLEV, *PhD in geol. & min. sc., associate professor, onyak@mail.ru*
Saint-Petersburg State polar academy

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЗАКИСЛЕННЫХ «ГОЛУБЫХ» ОЗЕР В ГУМИДНОЙ ЗОНЕ

В зоне гумидного климата широко распространены «черные» озера. Их воды содержат много гуминовых веществ и растворенного железа, поэтому имеют желтый с бурым оттенком цвет разной интенсивности. На этом фоне резко выделяются изредка встречающиеся озера с прозрачной бесцветной водой. Благодаря массовому развитию на дне этих озер сине-зеленых водорослей (цианобактерий), вода в них имеет зеленовато-голубой оттенок («голубые» озера). В процессе жизнедеятельности эти микроорганизмы потребляют растворенные в воде органические вещества и сульфаты и выделяют днем кислород, а ночью сероводород, вступающий в реакцию с растворенным в воде железом, переход которого в пирит повышает кислотность озерных вод. Периодическое образование сероводорода и является причиной «закисления» озер. Кроме того, оно приводит к осаждению растворенного в воде железа в форме гидротроилита. Не «кислотные» дожди, являющиеся лишь дополнительным поставщиком сульфатов в рассматриваемые озера, а деятельность специфической группы микроорганизмов цианобактериального мата является главной причиной «закисления» озер (снижения pH). Описанные процессы следует принимать во внимание при рассмотрении техногенного воздействия на состояние водных объектов.

Ключевые слова: «голубые» озера, «черные (мертвые)» озера, сине-зеленые водоросли, цианобактериальный мат, формы железа, закисление.

ABOUT ORIGIN OF ACIDIFICATION OF «BLUE» LAKES IN THE ARIA OF HUMID CLIMATE

«Black» lakes are widely widespread in the area of humid climate. Their waters contain many humic matters and cut-in iron, therefore have different intensity with a brown – yellow tint. On this background lakes meetings lakes with clear colourless water considerably stand out. Due to mass development on the bottom of these lakes of dark blue-green algae (cyanobacterias) water in them is of greenish-blue tint («blue» lakes). In the course of life, these microorganisms consume dissolved organic substances and sulfates and produce in the daytime – oxygen, and at night – hydrogen sulfide which reacts with dissolved iron in water.

This transition increases the acidity of the pyrite in the lake waters and is also accompanied by acidification of the water. Periodic formation of hydrogen sulfide is the cause of «acidification» of lakes. In addition, it leads to precipitation of dissolved iron in the form hydrotroilit. It's not the «acid» rains that are only an additional supplier of sulfates in the lake under consideration but the activity of specific groups of microorganisms cyanobacteria mats that considered is the main cause of «acidification» of lakes (low pH).

These processes should be taken into account when considering the anthropogenic impact on the state of water objects.

Key words: «blue» anormal lakes, «black» lakes, blue-green algae, ciano-bacterial mat, ferrous forms, souring.

В последние десятилетия наблюдается все увеличивающееся «закисление» озерных вод в промышленно развитых странах Европы и Северной Америки. Это явление обычно связывается с воздействием «кислотных» дождей, рН воды которых изменяется от 5 до 3, образование которых объясняется поступлением в атмосферу продуктов сгорания содержащих серу веществ, главным образом, бурого и каменного угля, нефти, газа. Во влажном воздухе сернистые соединения, прежде всего диоксид серы (SO₂), подвергаются химическим изменениям, приводящим к образованию серной кислоты. С дождевой водой серная кислота попадает в озеро и подкисляет их воду. Если в нормальных озерах водородный показатель составляет 6-7 единиц, то в «закисленных» «кислотными» дождями озерах он понижается до 5-3. Повышение кислотности воды губительно воздействует на растительный и животный мир озер, наносит большой вред рыбным запасам. Во многих тысячах «закисленных» озер указанных регионов рыба вообще исчезла. Однако в многочисленных публикациях и сообщениях на эту тему количественные показатели процесса «закисления» озерных вод водой «кислотных» дождей отсутствуют.

Авторы статьи придерживаются других взглядов на происхождение «закисленных» озер. В нормальных условиях, при небольшом содержании органических веществ и сульфатов, процессы жизнедеятельности сине-зеленых водорослей протекают вяло и не приводят к негативным экологическим последствиям. Однако, на участках впадения ручьев, приносящих в озера большие количества органических веществ и растворенного в воде железа, и при поступлении дополнительных порций сульфатов при выпадении «кислотных» дождей, жизнедеятельность сине-зеленых водорослей резко активизируется. Микроорганизмы вырабатывают больше сероводорода, на дне озер оседает больше закисного железа, что и приводит к «закислению» озер.

В зоне гумидного климата широко распространены так называемые «черные» озера. Их воды содержат много гуминовых веществ и растворенного железа, поэтому

имеют желтый с бурым оттенком цвет разной интенсивности. На их фоне резко выделяются изредка встречающиеся озера с прозрачной бесцветной водой. Благодаря массовому развитию на дне сине-зеленых водорослей (цианобактерий) вода в них имеет зеленовато-голубой цвет. Для краткости и отличия от фоновых «черных» озер эти аномальные озера названы нами «голубыми» [1]. Их размеры не превышают 2-3 км (обычно меньше 1 км), глубина до 3-5 м.

«Голубые» озера впервые были описаны нами на Тазовском п-ове (на широте Полярного круга), затем их изучение было продолжено в других районах Западной Сибири и на европейском Севере России [1-3]. Были обследованы сотни озер. Исследования показали, что наряду с необычным цветом описываемые озера характеризуются рядом других аномалий. Они образуются только там, где распространены существенно-кварцевые пески. Поэтому их берега и мелководья (литораль) обычно сложены чистым плотным песком, тогда как в расположенных рядом «черных озерах» – вязким глинистым песком, обогащенным растительными остатками. В «голубых» озерах очень мало растительности, а ее видовой состав отличается от растительности «черных» озер. В них также резко сокращен видовой состав рыбы. Если в «черных» озерах много разной рыбы (щука, окунь, ерш и др.), то в расположенных рядом «голубых» озерах ее мало и представлена она только окунем, который иногда имеет уродливую форму: большую голову и узкое (как у налима) туловище. В некоторых озерах рыбы вообще нет.

Воды «черных» и «голубых» озер различаются содержанием сульфат-иона. В черных озерах сульфатов нет или очень мало (0-3 мг/л), тогда как на некоторых участках «голубых» озер их заметно больше – (до 10-12,5 мг/л). С круговоротом серы при участии сине-зеленых водорослей связаны и некоторые другие аномалии рассматриваемых озер.

Сине-зеленые водоросли распространены на литорали и нижней, наиболее увлажненной части пляжа. Они заселяют верхний

тонкий слой озерного песка, образуя в нем бактериальное сообщество (цианобактериальный мат). В нем отчетливо видны два слоя. Нижний представлен светлой студенистой массой (слизью) с погруженными в нее песчинками сине-зеленого цвета; в зависимости от местных условий, его толщина колеблется от 1 до 5 мм, обычно она составляет 2-3 мм. Поверх этого слойка залегает слоев отмерших сине-зеленых и диатомовых водорослей зеленовато- или буровато-серого цвета, содержащий примесь глинистого материала толщиной до 2-4 мм.

Исследования показали, что имеющие сине-зеленый цвет песчинки мата представляют собой оолиты: под слоем обволакивающих песчинки сине-зеленых водорослей залегает черный слой, представленный гидротроилитом ($\text{FeS} \cdot \text{H}_2\text{O}$). При разрушении мата образуется темно-серый шлик – песок, содержащий железо.

Нами установлено, что цианобактериальный мат образуется только в тех озерах, воды которых содержат оптимальные количества органики, серы, железа и, возможно, кремниевой кислоты (геля). При отсутствии или недостатке одного из этих компонентов мат не образуется, аномальные явления на таких озерах не возникают. В процессе жизнедеятельности слагающие мат микроорганизмы потребляют растворенные в воде органические вещества и серу и выделяют днем кислород, а ночью – сероводород, закисляющий воду. При соединении сероводорода с растворенным в воде железом образуется гидротроилит, который со временем переходит в пирит. Биохимическое окисление пирита также приводит к образованию серной кислоты и закислению воды. Периодическое образование сероводорода и серной кислоты губительно действует на растения и обитающих или собирающих корм на дне животных. Лишенные растительности светло-серые пески пляжа и литорали хорошо видны на аэро- и космоснимках, что позволяет уверенно проводить картирование рассматриваемых аномальных озер.

В Западной Сибири источником сульфатов являются морские породы мела и палеогена, обычно перекрытые пресноводны-

ми олигоценowymi, неогеновыми и четвертичными отложениями общей мощностью до 200-300 м. Однако на некоторых участках эти породы процессами глиняного диапиризма выведены на дневную поверхность, где образуют разной величины системы гряд и межгрядовых понижений, так называемый параллельно грядовый рельеф. Ядра гряд обычно сложены диатомитами, трепелами и опоками, поверх которых залегают более молодые пресноводные песчано-глинистые отложения. К межгрядовым понижениям приурочены болота и озера, часто имеющие вытянутую форму. Поверхностными водами сера из слагающих гряды пород выносится в прилегающие озера, где активизирует жизнедеятельность сине-зеленых водорослей.

Интенсивное развитие сине-зеленых водорослей наблюдается только после выпадения обильных дождей, воды которых с большой площади смывают в озера не только серу, но и органику и железо. Обычно это происходит на небольших участках озер, прилегающих к устьям приносящих эти вещества ручьев. Здесь нижний слой цианобактериального мата в это время имеет наибольшую (до 4-5 мм) толщину и сочный сине-зеленый цвет. Уже на удалении 100-150 м от этих участков его толщина сокращается до 2-3 мм, а цвет становится менее ярким. Через несколько дней после обильных дождей жизнь в матах замирает до следующих дождей. Приведенные сведения дают основание говорить о том, что периодическое и неравномерное вдоль береговой линии озера поступление различных химических веществ является причиной изменяющегося во времени и пространстве характера жизнедеятельности сине-зеленых водорослей – выработки ими кислорода и сероводорода, и как следствие – осаждения растворенного в воде железа.

Как уже отмечалось, считается, что, попадая в озера, закисленная дождевая вода подкисляет их воды, понижая рН до 3-4. Это представление недостаточно обосновано. Дожди, рН воды которых составляет 3-5 единиц, не могут закислить большие массы нормальных озерных вод до таких же значе-

ний рН. «Мертвые» озера мы считаем сильно закисленной разновидностью «голубых» озер. Их образование связывается нами с жизнедеятельностью цианобактерий в условиях повышенного содержания сульфатов, поступающих в воду как наземным, так и воздушным путем (из кислотных дождей).

До начала 70-х гг. XX в., когда не было крупных выбросов кислотообразующих веществ в атмосферу, рассматриваемые комплексы сине-зеленых водорослей имели ограниченное распространение и не оказывали существенного влияния на экологию озер. С нарастающим увеличением объемов выбрасываемых в атмосферу серосодержащих веществ резко увеличилось поступление серы в озера. Это явилось причиной активизации жизнедеятельности цианобактериальных матов и их отрицательного воздействия на экологию озер.

В настоящее время возрождение «закисленных» озер, снижение кислотности их вод проводится путем известкования. Это трудоемкая и дорогостоящая работа. Если наши представления о связи этих озер с жизнедеятельностью сине-зеленых водорослей подтвердятся дальнейшими полевыми и лабораторными исследованиями, борьбу с «закислением» озер можно будет вести другим путем. Чтобы ослабить отрицательное воздействие рассматриваемых микроорганизмов на экологию озер, нужно сократить

поступление в них одного из необходимых для их жизнедеятельности главных компонентов – органических веществ или сульфатов. Поскольку в некоторых регионах от кислотных дождей в настоящее время избавиться нельзя, борьбу с закислением вод наиболее ценных в хозяйственном отношении озер, по нашему мнению, следует вести, отводя от них ручьи и речки, приносящие большой объем болотных вод, содержащих много органики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузин И.Л. О приоритете в изучении поверхностных газопроявлений в Западной Сибири // Геология и геофизика. 1990. № 9. С.142-144.
2. Кузин И.Л. Голубые озера областей гумидного климата // Изв. Российского геогр. о-ва. 2001. Т.133. Вып.3. С.44-51.
3. Кузин И.Л. О геологической роли сине-зеленых водорослей и природных условиях докембрия // Изв. Российского геогр. о-ва. 2007. Т.139. Вып.2. С.48-64.

REFERENCES

1. Kuzin I.L. As to the priority in the examination of near-surface gas shows in the West Siberia // Geology and Geophysics. 1990. N 9. P.142-144.
2. Kuzin I.L. Blue lakes in the area of damp climate // Magazine Russian Geographical Society. 2001. Vol.133. Issue 3. P.44-51.
3. Kuzin I.L. About a geological role of blue-green seaweed and an environment of Precambrian // Magazine Russian Geographical Society. 2007. Vol.139. Issue 2. P.48-64.