

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.324.84+551.32:57+ 551.321

**ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПЫЛЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НИВАЛЬНО-ГЛЯЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**М.С. Дементьев**

*Северо-Кавказский федеральный университет, Институт математики и естественных наук,  
355029, Ставрополь, просп. Кулакова, 2, Россия; dement@mail.ru*

Глобальное загрязнение атмосферы – одна из главных причин деградации нивально-гляциальных систем. Последствия этого процесса были изучены на примере высокогорных озер бассейна реки Большой Зеленчук. Установлено, что запыление снега и ледников привело к адекватному увеличению минерализации высокогорных озер. Отмечено накопление химических веществ в иловых отложениях озер. В результате повышения минеральной кормовой базы в этих озерах уровень продуктивности фитопланктона заметно увеличился; многочисленными стали жуки, ручейники, другие водные животные. Эти обстоятельства позволяют приступить к разработке новой методики дистанционного определения степени пылевого загрязнения нивально-гляциальных систем путем оценки цветности воды высокогорных озер.

*Атмосферная пыль, ледниковые озера, нивально-гляциальные системы, химический состав, фитопланктон, дистанционное сканирование цветности*

**HYDROBIOLOGICAL IMPLICATIONS AND METHOD FOR DETERMINING  
THE DUST POLLUTION OF NIVAL-GLACIAL SYSTEMS**

**M.S. Dementyev**

*North Caucasian Federal University, Institute of Mathematics and Natural Sciences  
355029, Stavropol, av. Kulakov, 2, Russia; dement@mail.ru*

The global pollution is one of the main causes of degradation of nival-glacial systems. The consequences of this process have been studied on the example of alpine lakes of the Big Zelenchuk Basin. It has been found that the dusting of snow and ice led to an adequate increase of mineralization of alpine lakes. The accumulation of chemicals has been marked in the silt lakes. As a result of the increase in mineral fodder in these lakes, the phytoplankton productivity level has increased to visually noticeable quantities. Beetles, caddisflies and other aquatic animals have become numerous. These circumstances allow developing of a new method for remote determination of the degree of dust contamination of nival-glacial systems by assessment of the water color in alpine lakes.

*Atmospheric dust, glacial lakes, nival-glacial systems, chemical composition, phytoplankton, the remote scan of color*

**ВВЕДЕНИЕ**

Район Архыза в верховьях р. Большой Зеленчук пользуется большой рекреационной популярностью. Однако он до сих пор не обеспечен лососевым рыбоводством. Одна из причин этого в обеспокоенности рыбоводов качеством воды. В частности, в реке, особенно в зимнее время, наблюдается высокое содержание и даже превышение ПДК (по рыбоводным нормативам [Федеральное агентство..., 2010]) отдельных металлов и нефтепродуктов (см. таблицу). Поиск загрязнителей и привел нас в высокогорье изучаемого региона.

Издалека снежные шапки гор этого региона кажутся сверкающими, белыми. Однако на самих

ледниках и снежниках картина представляется в ином свете. Если льды еще выглядят более или менее однородными и одноцветными, то снежники вблизи стали визуально серыми с очевидными включениями грязевых частиц на глубину иногда более 0.05 м. Все чаще встречаются разноцветные пятна, представляющие собой очаги развития снежных водорослей.

Более того, в ледниковых озерах (в августе – с плавающими льдинами) начала обнаруживаться достаточно активная для подобных олиготрофных водоемов жизнь. С учетом того, что вода из ледников считалась безжизненной, приближенной к

Химический состав гляциальных систем высокогорья бассейна р. Большой Зеленчук (мг/дм<sup>3</sup>)

Элемент	Лед	Снег	Вода озер	ПДК РХ
Общая минерализация	22.3 ± 0.2	32.7 ± 0.4	47.7 ± 0.4	–
Аммоний-ион	0.015 ± 0.005	0.02 ± 0.006	0.03 ± 0.005	0.5
Натрий	4.1 ± 0.8	5.5 ± 0.9	10.0 ± 1.1	120
Нитрат-анион	0.4 ± 0.05	0.4 ± 0.05	1.0 ± 0.07	40
Нитрит-анион	0.001 ± 0.0002	0.001 ± 0.0002	0.001 ± 0.0002	0.08
Сульфат-анион	2.8 ± 0.3	3.2 ± 0.4	5.5 ± 0.3	100
Фторид-анион	0.021 ± 0.004	0.038 ± 0.003	0.034 ± 0.003	0.05
Фосфаты	Следы	0.001 ± 0.0004	0.003 ± 0.0003	0.05
Железо	0.10 ± 0.02	0.13 ± 0.01*	0.18 ± 0.02*	0.1
Кадмий	Следы	Следы	Следы	0.005
Калий	1.1 ± 0.009	1.5 ± 0.01	2.5 ± 0.02	50
Кальций	1.3 ± 0.2	1.5 ± 0.2	2.8 ± 0.1	180
Медь	0.0009 ± 0.0001	0.001 ± 0.0001	0.0012 ± 0.0002*	0.001
Свинец	0.002 ± 0.0001	0.003 ± 0.0002	0.006 ± 0.0002*	0.006
Цинк	0.009 ± 0.0001	0.012 ± 0.002*	0.016 ± 0.003*	0.01
Нефтепродукты	0.001 ± 0.0003	<0.07*	<0.09*	0.05

Примечание. Химические определения проводились в лаборатории Водоканала по стандартным методикам для каждой отдельной группы веществ. ПДК РХ – предельно допустимая концентрация вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения.

\* Превышение ПДК РХ.

дистиллированной (ранее использовалась даже для заливки аккумуляторов), представляется очевидной актуальность изучения последствий загрязнения высокогорья.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на высокогорных озерах в бассейне р. Большой Зеленчук, в основном на ее притоках – София, Дукка, Пшиш, а также на прилегающих к ним ледниках и снежниках. Было изучено более 50 озер и прилегающих к ним территорий. Стационарными точками исследований являлись озера Запятая и Большое Софийское в бассейне р. София в периоды с мая по сентябрь начиная с 2000 по 2010 г. [Дементьев и др., 2000; Дементьев, Долаева, 2000, 2001, 2004, 2005; Долаева, 2004; Долаева, Дементьев, 2004]. Видовой состав и численность живых организмов (фитопланктон, зоопланктон, нектон и бентос) изучали посредством общепринятых гидробиологических методов. Химический состав воды и илов озер, а также снега и льда определяли в лабораториях Водоканала по принятым здесь стандартным методикам для каждой отдельной группы химических составляющих.

Наблюдения осуществляли методом групп-аналогов, взятие проб – методом систематического выбора со случайным началом [Парчевская, 1969]. Статистическая обработка проводилась на ИВМРС с применением компьютерных программ Microsoft Excel 5.0a и Biostatics version 4.03.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Прежде всего был изучен химический состав загрязненного поверхностного слоя льда, снега и воды ледниковых озер [Дементьев и др., 2000; Дементьев, Долаева, 2000, 2004]. Установлено, что их химический состав в целом был идентичен, но в озерах количественное содержание большинства химических компонентов существенно выше (см. таблицу).

Очевидно, что по некоторым показателям химического состава результаты оказались достоверно негативными на высоком уровне статистической значимости ( $p \leq 0.01$ ). Наиболее критичным и неожиданным было наличие элементов нефтепродуктов – в некоторых пробах до 0.09 мг/л при ПДК 0.05 мг/л. В целом отмечается заметное количество нестойкого органического вещества (биологическое потребление кислорода за пять суток (БПК<sub>5</sub>) в августе достигало 0.5–0.8 мгО<sub>2</sub>/л при ПДК РХ 3.0). Все это можно объяснить только попаданием данных химических веществ с атмосферными осадками, в частности атмосферной пылью. Повышенное содержание химических веществ в озерах связано также с их дополнительным поступлением с каменистых склонов, не занятых ледниками и снежниками (сами каменные массивы выщелачиваются слабо). Подобные факты аллохтонного поступления различных химических веществ в высокогорье за счет атмосферных процессов известно достаточно давно [Дикин, 1975; Рихванов и др., 2008].

В отличие от равнинных водоемов, в высокогорных озерах низкая температура не способствует активности бактериальной флоры. Об этом в некотором приближении позволяют судить материалы В.А. Акимова [1971], который установил, что в оз. Севан по сравнению с равнинными водоемами продукция водных бактерий на порядок меньше (не более 0.005 мг С/л). Между тем оз. Севан расположено существенно ниже изучаемых нами ледниковых озер. По нашим наблюдениям, в этих горных водоемах часто находили так называемые кладбища наземных насекомых (в турбулентных донных углублениях), в которых эти организмы практически не подвергались разложению в течение нескольких месяцев, а может быть, и лет. В нижней части цепочки озер (около 1.5–2.0 тыс. м над уровнем моря) нами был замечен труп форели, застрявший в брошенной сети, который сохранял форму и практически не разлагался в воде около трех лет. Эти факты говорят о том, что в высокогорье бактериальная фауна не способна утилизировать все увеличивающийся внос различных органических химических веществ.

В противоположность этому, увеличение аллохтонных источников минерального питания привело к заметному росту численности и биоразнообразия фитопланктонных сообществ. Возможно, первыми на это обратили внимание люди с хорошим цветовым зрением, которые стали различать высокогорные озера по их цветовым оттенкам, что частично отразилось в их названиях.

Следует отметить, что видовое разнообразие фитопланктона в целом достаточно представительно для горных водоемов [Жизнь..., 1977; Деметьев, Долаева, 2000]. Но в каждом из них в отдельности фитопланктон имеет свою специфику и чаще всего ограничивается несколькими видами. Более того, его разнообразие не является стабильным и может существенно различаться по сезонам и годам. И лишь в более крупных озерах можно наблюдать относительно постоянную, но специфичную для каждого конкретного водоема планктонную микрофлору. В целом в озерах и горных заболоченностях микроводоросли в планктоне встречаются в количестве до 7 тыс. экз/м<sup>3</sup> (июнь–август).

По литературным данным [Жизнь..., 1977], в горном Кавказе в снегу и гляциальных водоемах встречается до 55 видов микроводорослей (26 – диатомовые, 18 – зеленые, 10 – синезеленые, 1 – багрянки). Авторами за период исследований в высокогорье было встречено только 32 вида фитопланктона с возможными спектрами поглощения от 400 до 550 нм.

Наиболее массовыми и постоянно присутствующими в фитопланктоне всех водоемов высокогорья были следующие организмы:

1. Отдел синезеленые (*Cyanophyta*), класс хемисифоновые (*Chamaesiphonophyceae*) – *Chamaesiphon* sp. (возможно *Ch. curvatus*).

2. Отдел синезеленые (*Cyanophyta*), класс хроококковые (*Chroococcophyceae*) – *Microcystis* sp. (возможно *M. pulverea*).

3. Отдел диатомовые (*Bacillariophyta*), класс пеннатные (*Pennatophyceae*) – *Gomphonema* sp.

4. Отдел зеленые (*Chlorophyta*), класс вольвоксовые (*Volvocophyceae*) – *Volvox* sp. (наиболее массовый вид).

5. Отдел зеленые (*Chlorophyta*), класс протококковые (*Protococcophyceae*) – *Scenedesmus* sp.

Кроме этих водорослей реже, но уже без какой-либо видимой закономерности, в высокогорье (гляциальные озера, ручьи, озера и горные заболоченности) встречаются малочисленные экземпляры: из синезеленых – *Gloeocapsa alpina*, *Gloeotheca palea*, *Eucapsis alpina*, *Nostoc* sp., *Rivularia* sp.; из пиррофитовых – *Peridinium* sp., *Gloeodinium montanum*; из диатомовых – *Tabellaria fenestrata*, *Synedra* sp., *Pinnularia* sp., *Amphora* sp.; из желтозеленых – *Tetraedriella* sp., *Vaucheria* sp.; из зеленых – *Spondylomorpha quaternarium*, *Stephanosphaera pluvialis*, *Haematococcus* sp., *Chlamydomonas nivalis*, *Chlorella* sp., *Ancylonema* sp. (возможно *A. nordenskiöldii*), *Spirogira* sp. (возможно *S. varians*), *Micrasterias* sp. и некоторые другие.

В среднем в каждом отдельном высокогорном водоеме может присутствовать не более 15–20 видов фитопланктона, различающихся спектрами поглощения света. Сосудистые растения (макрофиты) в высокогорных озерах не были отмечены.

Вторичный уровень продукции представлен разнообразными животными [Долаева, 2004]: раковинными амебами, жгутиконосцами, гидрами, мшанками и другими, большей частью микроскопическими организмами. Вершину пищевой цепи занимают насекомые – жуки, ручейники и ногохвостки. Однако подробный состав животного населения здесь не приводится, так как для цели данной статьи не принципиален. Отметим только, что биомасса этого трофического уровня стабильно повышается на 5–10 % в год.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По мнению Ю.В. Ефремова [1984, 1988], воды высокогорий изучаемого региона должны относиться к ультрапресным с минерализацией до 0.1 г/л. Низкая минерализация ледниковых вод объясняется тем, что здесь повсеместно распространены твердые кристаллические породы – граниты, гнейсы, амфиболиты, слабо подверженные выщелачиванию. Однако, как было показано, минерализация высокогорных водных потоков в настоящее время стала существенно выше, чем предполагалось и наблюдалось ранее. Очевидно, именно это вызывает заметное усиление развития

фитопланктона. Можно предположить, что его биомасса и видовой состав (цветность воды) связаны с объемом пылевого загрязнения высокогорья.

С физико-химической точки зрения известно, что пигменты фитопланктона поглощают энергию преимущественно в красной и голубой зонах спектра и отражают, как правило, но не всегда, в зеленой его части. Таким образом, существует соотношение между спектральным отражением поверхностного слоя воды и содержанием в ней фитопланктона с определенным набором пигментов. Соотношение в различных спектральных зонах и определяет “цвет” горной воды (цветовой индекс). Учитывая предполагаемую связь между пылевым загрязнением и уровнем развития фитопланктона, а также наличие соответствующего приборного обеспечения (например, спектрорадиометров), становится очевидной возможность применения в гляциологических исследованиях дистанционных методов контроля загрязнения высокогорий, что давно делается в морских гидробиологических исследованиях. С точки зрения практики остается изучить спектральные характеристики отдельных видов фитопланктона и их сочетаний.

### ВЫВОДЫ

1. В последние десятилетия в результате глобального загрязнения атмосферы объем пылевого переноса химических веществ, в том числе в высокогорье, увеличился, что привело к визуально наблюдаемому загрязнению нивально-гляциальных систем.

2. В труднодоступных высокогорных ледниковых территориях определение интенсивности и состава пылевого загрязнения затруднено технически и организационно. Более перспективно изучение уровня загрязнения гляциологических систем дистанционными методами, например, путем определения цветности воды высокогорных озер.

### Литература

**Акимов В.А.** Продукция бактерий в рыбоводных прудах // Сб. тр. ВНИИПРХ. М., 1971, вып. 6, с. 50–68.

**Дементьев М.С., Долаева М.М.** Горные озера Кавказа – показатель экологической ситуации в регионе // Вузовская наука Северо-Кавказскому региону: Материалы IV регион. науч.-техн. конф. Ставрополь, СКГТУ, 2000, с. 111.

**Дементьев М.С., Долаева М.М.** Эвтрофикация горных озер Карачаево-Черкесии // Материалы докл. Междунар. науч.-практ. конф. “Проблемы и перспективы развития аквакультуры в России” (Адлер, 24–27 сент. 2001 г.). Краснодар, Здравствуйте, 2001, с. 169–170.

**Дементьев М.С., Долаева М.М.** Эколого-гидрологические особенности населения горных водоемов Архыза // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. “Проблемы экологической безопасности и сохранения природно-ресурсного потенциала”. Ставрополь, СГАУ, 2004, с. 126–128.

**Дементьев М.С., Долаева М.М.** Биоценоз архызских высокогорных озер // Материалы Второй междунар. науч.-практ. конф. “Проблемы экологической безопасности и сохранения природно-ресурсного потенциала” (Ессентуки, 30 сент.–1 окт. 2005 г.). Ставрополь, ГУП СК, Краевые сети связи, 2005, с. 60–61.

**Дементьев М.С., Ткаченко А.С., Зайцев М.В.** Антропогенное воздействие на состав воды озера Запаятая // Оценка экологического состояния горных и предгорных экосистем Кавказа: Сб. науч. тр. Ассоц. ООПТ Сев. Кавказа и юга России. Теберда, Теберд. гос. биосфер. природ. заповедник, 2000, вып. 3, с. 129–130.

**Диких А.Н.** Некоторые результаты исследований естественной загрязненности оловым мелкозерном поверхности ледников Тянь-Шаня // Гляциологические исследования на Тянь-Шане. Фрунзе, Илим, 1975, с. 81–89.

**Долаева М.М.** Экологические особенности биоценозов водоемов бассейна реки Большой Зеленчук: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д., 2004, 23 с.

**Долаева М.М., Дементьев М.С.** Население горных водоемов бассейна реки Большой Зеленчук // Проблемы развития биологии и экологии на Северном Кавказе: Материалы науч. конф. “Университетская наука региону”. Ставрополь, СКГТУ, 2004, с. 80–81.

**Ефремов Ю.В.** Горные озера Западного Кавказа / Ю.В. Ефремов. Л., Наука, 1984, 112 с.

**Ефремов Ю.В.** Количественная оценка Западного Кавказа методом фиксации продуктов экзогенных процессов // Тез. докл. XIX пленума Геогр. комиссии АН СССР “Экзогенные процессы и окружающая среда”. Казань, КГУ, 1988, с. 52–53.

**Жизнь растений** / Под ред. А.А. Федорова. М., Просвещение, 1977, т. 3, 427 с.

**Парчевская Д.С.** Статистика для радиоэкологов / Д.С. Парчевская. Киев, Наук. думка, 1969, 114 с.

**Рихванов Л.П., Робертус Ю.В., Таловская А.В., Любимов Р.В., Шатилов А.Ю.** Особенности распределения химических элементов в талой воде ледника Большой Актру (Горный Алтай) // Изв. Том. политехн. ун-та, 2008, т. 313, № 1, с. 97–103.

**Федеральное агентство по рыболовству.** Приказ “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного назначения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах объектов рыбохозяйственного значения”. 18 янв. 2010 г. № 20 (Д). URL: [http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_164888\\_DocumIsPrint\\_\\_Page\\_3.html](http://www.businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_164888_DocumIsPrint__Page_3.html) (дата обращения: 15.05.2015).

Поступила в редакцию  
4 июля 2014 г.