

УДК 504.054

Щеглов Глеб Андреевич

аспирант,
Институт проблем промышленной
экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН,
г. Апатиты, ул. Академгородок 13а,
e-mail: g.scheglov@ksc.ru

**ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ CHLORELLA
VULGARIS СНИЖАТЬ КОНЦЕНТРАЦИЮ
АЗОТА В СТОЧНЫХ ВОДАХ
ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ***Аннотация:*

Загрязнение сточных вод соединениями неорганического азота является серьезной проблемой горнодобывающей промышленности, различных производств и коммунального хозяйства. В карьерные сточные воды азот попадает после взрывных работ с использованием нитрата аммония в качестве взрывчатки. Очистка вод от азота возможна биологическими методами, но их применение в северных регионах России затруднено в силу климатических факторов. Загрязнение воды азотом приводит к нарушению экосистем и заболеваниям человека. Кроме того, предприятия платят штрафы за превышение предельно допустимых показателей, что ухудшает экономические показатели эффективности компаний. Поэтому разработка технологий очистки сточных вод от соединений азота является актуальной задачей. Цель исследования – изучить в различных условиях способность микроводоросли *Chlorella vulgaris* к поглощению и утилизации неорганических соединений азота в сточных водах горнодобывающего производства на примере сточных вод отстойников карьера и хвостохранилища предприятия Карельский окатыш (г. Костомукша, республика Карелия). Новизна исследования заключается в изучении результатов параллельно идущих при различных условиях опытов по культивированию микроводоросли *Chlorella vulgaris* для снижения концентрации аммония в сточных водах предприятия горнопромышленного комплекса. Объектом исследования является аммоний в пробах воды. В рамках работы измерялась концентрация аммония, а также концентрация биомассы микроводоросли *Chlorella vulgaris*. В результате исследования было зафиксировано снижение аммонийной формы азота в воде при культивировании *Chlorella vulgaris* при температуре 26 °С, аэрации и искусственном освещении. Данные результаты свидетельствуют о перспективности разработки биотехнологий очистки сточных вод от аммония в биореакторах.

Ключевые слова: карьерные воды, соединения неорганического азота, нитрат аммония, поллютанты, очистка, искусственные болота, микроводоросли, биотехнологии.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.112

Shcheglov Gleb A.

Postgraduate Student,
Institute of Industrial Ecology Problems
in the North, FIC KSC RAS,
Russia, Apatity, 13a Akademgorodok Str.
e-mail: g.scheglov@ksc.ru

**STUDY OF REDUCING NITROGEN
CONCENTRATION IN THE MINING
WASTEWATER BY CHLORELLA
VULGARIS***Abstract:*

Wastewater contamination by inorganic nitrogen compounds is a serious problem in mining, various industries and utilities. Nitrogen enters quarry wastewater after blasting using ammonium nitrate as the explosive. Water purification from nitrogen is possible by biological methods, but their application in the northern regions of Russia is difficult due to climatic factors. Nitrogen pollution of water leads to disruption of ecosystems and human diseases. In addition, enterprises pay fines for exceeding the maximum permissible values, which worsens the economic performance of the enterprises. Therefore, the development of wastewater treatment technologies for nitrogen compounds is an urgent task. The aim of this research is to study the ability of the microalgae *Chlorella vulgaris* to absorb and utilize inorganic nitrogen compounds in mining wastewater under different conditions, using the examples of wastewater from the pit and tailings pond of Karelsky Okatysh enterprise (Kostomuksha, Republic of Karelia). The novelty of the research lies in the study of the results of parallel experiments under different conditions on the cultivation of microalgae *Chlorella vulgaris* to reduce the concentration of ammonium in the wastewater of enterprises of the mining industrial complex. The object of the study is ammonium in water samples. We measured the concentration of ammonium, as well as the concentration of biomass of microalgae *Chlorella vulgaris*. The study recorded a decrease in the ammonium form of nitrogen in water when *Chlorella vulgaris* cultured at a temperature of 26 °C, with aeration and artificial light. These results indicate the promising development of biotechnology for wastewater treatment of ammonium in bioreactors.

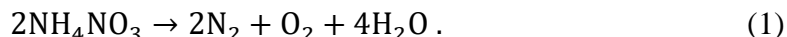
Key words: quarry waters, inorganic nitrogen compounds, ammonium nitrate, pollutants, purification, constructed wetland, microalgae, biotechnologies.

Введение

Актуальной проблемой является загрязнение природных вод соединениями азота и другими веществами, которые попадают в воду при сбросе карьерных и шахтных сточных вод горнодобывающих производств [1].

Например, в Мурманской области – регионе с сильно развитой горнодобывающей промышленностью, где на долю всех образующихся в регионе отходов 90 % приходится на горнодобывающие предприятия, образуется 225,78 млн м³/год сточных вод, загрязненных соединениями неорганического азота [2].

При взрыве нитрат аммония разлагается на азот, кислород и воду с выделением тепла, когда температура превышает значение 350°C. Разложение происходит по формуле (1):



Соединения азота в воде находятся в растворенном состоянии и не выпадают в осадок. Растворимость азота увеличивается с температурой.

В сточных водах азот встречается в виде аммонийной (NH₄⁺), нитратной (NO₃⁻), нитритной (NO₂⁻) форм.

В результате взрывных работ в воду попадает до 4 % от общей массы азота во взрывчатке [3, 4].

Неорганический азот попадает в воду после взрывных работ:

- из обводненных скважин;
- с атмосферными осадками, проходящими через горную массу;
- при сочетании предыдущих причин.

В результате сбросов сточные воды попадают в природные водоемы, загрязняя азотом и другими веществами воду и почву, нанося ущерб экосистеме и здоровью людей [5]. Кроме того, при превышении норм предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных СанПиН, предприятия выплачивают штрафы, что приводит к снижению экономических показателей компаний.

Для разных форм азота в воде установлены свои нормы ПДК:

- для аммония – 1,5 мг/л;
- для нитратов – 45 мг/л;
- для нитритов – 3,3 мг/л.

Наибольшую эффективность в очистке вод от соединений азота показывают биологические методы очистки. К данным методам относятся:

1. Применение растений и микроорганизмов из болотных систем – Constructed wetland, они же фитоочистные системы. Сущность метода заключается в создании искусственного водоема со специальной растительностью на берегах, в толще и на поверхности воды, которая поглощает азот [6].

Имеются результаты, показывающие эффективность использования подобных систем в России [7] и даже в суровых климатических условиях Крайнего Севера [6].

При этом существенным недостатком систем такого рода является специфичность растений для разных климатических условий и отмирание части растений в процессе жизнедеятельности, после чего концентрация азота возрастает за счет азота из отмерших частей растений.

2. Очистка «активным илом» – еще один метод биологической очистки вод от соединений азота. В методе используются сообщества нитрифицирующих и денитрифицирующих микроорганизмов, обитающих в иле, для преобразования азота из одной формы в другую с последующим удалением из воды [8, 9, 10].

Технологии, использующие активный ил, обеспечивают эффективное удаление азота при температуре воды выше 10°C. Побочным отходом технологии является избыточное образование активного ила, требующего утилизации.

3. Для очистки вод от азота могут применяться микроводоросли. Одним из родов водорослей, пригодных для очистки азота, является *Chlorella*. Этот одноклеточный организм имеет широкий ареал обитания и легко культивируется.

Рядом исследований установлена способность различных видов *Chlorella* поглощать соединения азота в воде [11, 12]. Микроводоросль активно применяется для восстановления водоемов от цветения, в качестве удобрения, для питания скота или биодобавки в питании человека, может быть использована для производства биотоплива. В ходе очистки воды так же, как в предыдущих методах, будет накапливаться большое количество биомассы микроводоросли, которую можно применять в сферах деятельности, использующих *Chlorella*.

Целью данного исследования является изучение того, как *Chlorella vulgaris* справляется с поглощением аммония в различных условиях.

Материалы и методы

Источник загрязненных проб воды

Экспериментальная работа проводилась на пробах воды с предприятия «Карельский окатыш». Всего было отобрано 3 образца воды: два с отстойника карьера и один с отстойника хвостохранилищ.

АО «Карельский окатыш» – комбинат по добыче и переработке железной руды в России. Расположен в городе Костомукша в республике Карелия. Предприятие производит 20 % всех российских железорудных окатышей.

Характеристика проб и условий эксперимента

Образцы воды в рамках экспериментов помещались в различные условия, часть образцов разбавлялась для получения дополнительных проб с меньшей концентрацией аммония.

Таким образом, было рассмотрено 9 проб воды с различной концентрацией аммония. Ниже представлены условные обозначения проб и расшифровка условий экспериментов:

- 1 – отстойник хвостохранилища;
- 3 – отстойник карьера № 1;
- 3/2 – проба 3, разбавленная в 2 раза;
- 3/4 – проба 3, разбавленная в 4 раза;
- 4 – отстойник карьера № 2.

Разбавление проб осуществлялось дистиллированной водой в указанных пропорциях.

По условиям экспериментов перечисленные пробы находились при температуре 17°C, без аэрации, при освещении, работающем в лаборатории по рабочему графику 9/15 часов. Постоянство температуры оценивалось термометром.

Дополнительно были взяты по одной пробе «3» и «3/2» и помещены в условия пониженной температуры 7°C в холодильнике без аэрации и освещения. Данным пробам был присвоен индекс «.7»:

- 3.7;
- «3/2.7».

Аналогично было отобрано еще по одной пробе «3» и «3/2», находившихся в ходе эксперимента при температуре 26°C, с аэрацией и освещением. Данным пробам был присвоен индекс «.26»:

- 3.26;
- 3/2.26.

Постоянное освещение обеспечивалось с помощью лампы LED-1088 Aquarium light, она же и осуществляла подогрев проб воды до нужной температуры. Контроль тем-

пературы осуществлялся за счет ртутного термометра, помещенного в пробу воды. Подача воздуха осуществлялась за счет компрессора М-102 через пластиковые трубки со скоростью 2,5 л/мин.

Все эксперименты проводились параллельно. Длительность экспериментов составила 9 суток. На протяжении данного периода ежедневно измерялась оптическая плотность проб и концентрация аммония.

Для экспериментов отбирались пробы в объеме 200 мл с добавлением 10 мл суспензии микроводоросли. Все пробы находились в колбах с узким горлышком. Горлышко в ходе экспериментов было закрыто алюминиевой фольгой.

Характеристика микроводоросли

В качестве агента, снижающего концентрацию аммония в воде, рассматривалась одноклеточная зеленая микроводоросль *Chlorella vulgaris*. Микроводоросль до начала экспериментов культивировалась на среде Тамия 7 дней. В пробы воды добавлялось по 10 мл готовой суспензии водоросли. Для контроля количества биомассы водоросли измерялась оптическая плотность проб воды с добавленной суспензией перед началом эксперимента. Среднее значение оптической плотности для всех проб составило $0,022 \pm 0,003$.

Определение концентрации биомассы

Оценка изменения концентрации биомассы проводилась колориметрическим методом.

Для осуществления измерений был построен калибровочный график для пробы суспензии. Для пробы была определена концентрация биомассы микроводоросли *Chlorella vulgaris* по спектрофотометрической методике ГОСТ 17.1.4.02-90. Затем измерена оптическая плотность суспензии с различной степенью разбавления на длине волны 540 нм. По полученному калибровочному графику определяли концентрацию биомассы в пробах воды.

Измерения проводились на колориметре модели КФК-2 в кювете на 10 мм. После измерений показания колориметра переводились в концентрацию биомассы с помощью уравнения калибровочного графика.

Определение концентрации аммония

Оценка концентрации аммония в воде осуществлялась ионоселективным методом на иономере Мультитест ИПЛ-112 с помощью ионоселективного электрода ЭЛИТ-051 и электродом сравнения ЭСр-10103/3.0, по методике РД 52.24.394-95. Перед началом серии экспериментов электрод был откалиброван.

Статистическая обработка данных

После снятия показаний статистическая обработка данных проводилась в программе MS Excel с заполнением таблиц и построением графиков экспериментов.

Результаты исследования и их обсуждение

После обработки данные были представлены в виде графиков для удобного анализа (рис. 1 – 3). На рис. 1 представлены концентрации биомассы водоросли *Chlorella vulgaris* в течение экспериментов для всех проб воды.

На рис. 1 четко видно, как плавно растет концентрация биомассы микроводоросли при культивировании с постоянной температурой 26°C , с аэрацией и освещением вне зависимости от разбавления проб, соответственно, вне зависимости от концентрации загрязняющих веществ. Данные условия можно назвать идеальными для данного вида.

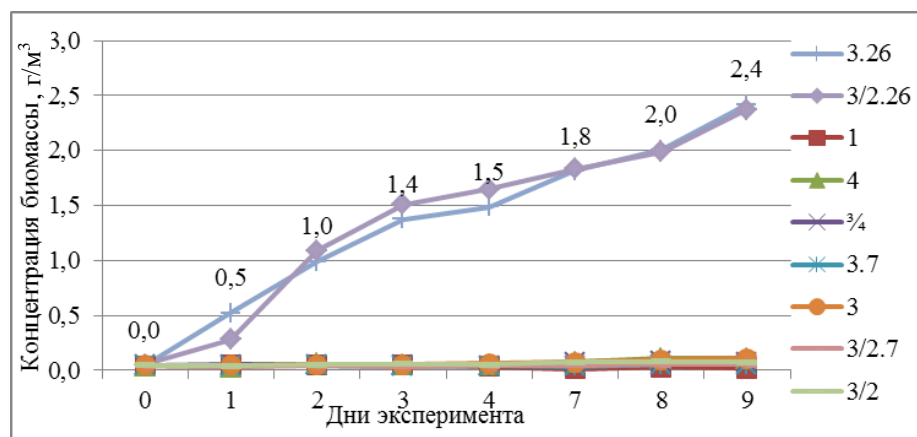


Рис. 1. Концентрация биомассы микроводоросли *Chlorella vulgaris* для всех проб воды
Пробы, культивирующиеся при постоянных: температуре 26°C, с аэрацией и освещением:
3.26 – отстойник карьера № 1; 3/2.26 – отстойник карьера № 1, разбавленный в 2 раза

Относительно пробы 3.26 и 3/2.26 пробы, культивируемые при температурах 7 и 17 °С, не показали существенного прироста биомассы, что объясняется низкой для данного вида микроводоросли температурой. Однако прирост биомассы все же был зафиксирован, поэтому изменение ее концентрации было дополнительно рассмотрено на рис. 2.

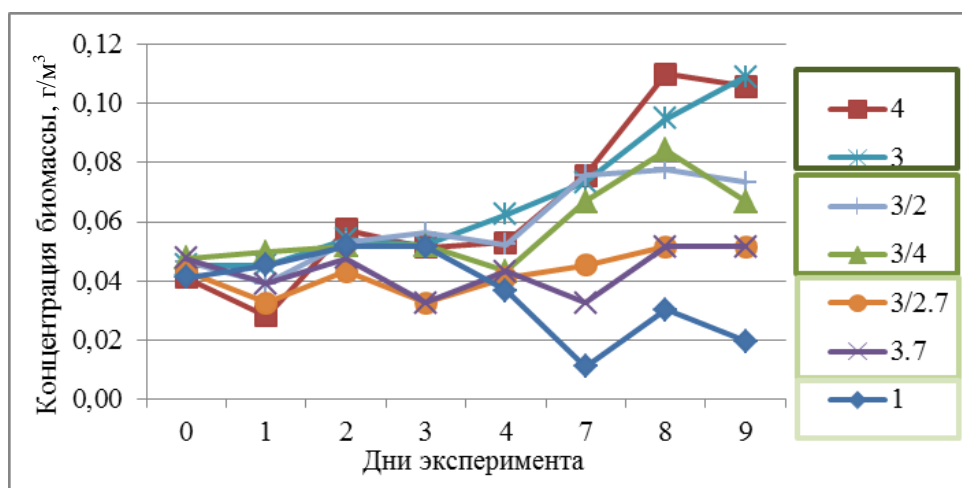


Рис. 2. Концентрация биомассы водоросли для проб воды с температурой 7 и 17°C.
Пробы, культивирующиеся при постоянной температуре 17°C, без аэрации и при переменном освещении:
1 – отстойник хвостохранилища; 3 – отстойник карьера № 1;
3/2 – отстойник карьера № 1, разбавленный в 2 раза;
3/4 – отстойник карьера № 1, разбавленный в 4 раза; 4 – отстойник карьера № 2.
Пробы, культивирующиеся при постоянной температуре 7°C, без аэрации и освещения:
3.7 – отстойник карьера № 1; 3/2.7 – отстойник карьера № 1, разбавленный в 2 раза

На рис. 2 видно, что все пробы с температурой культивирования 17°C, кроме пробы 1, к концу эксперимента накопили больше биомассы, чем те, которые культивировались при температуре 7°C. Если сопоставить данные концентрации биомассы с данными концентрации аммония, рассмотренными далее, видно, что конечная концентрация биомассы увеличивалась не только с ростом температур, но и с ростом концентрации. При высокой температуре конечная концентрация биомассы не зависела от концентрации аммония.

На рис. 3 представлены результаты измерения концентрации аммония в пробах воды в ходе экспериментов.

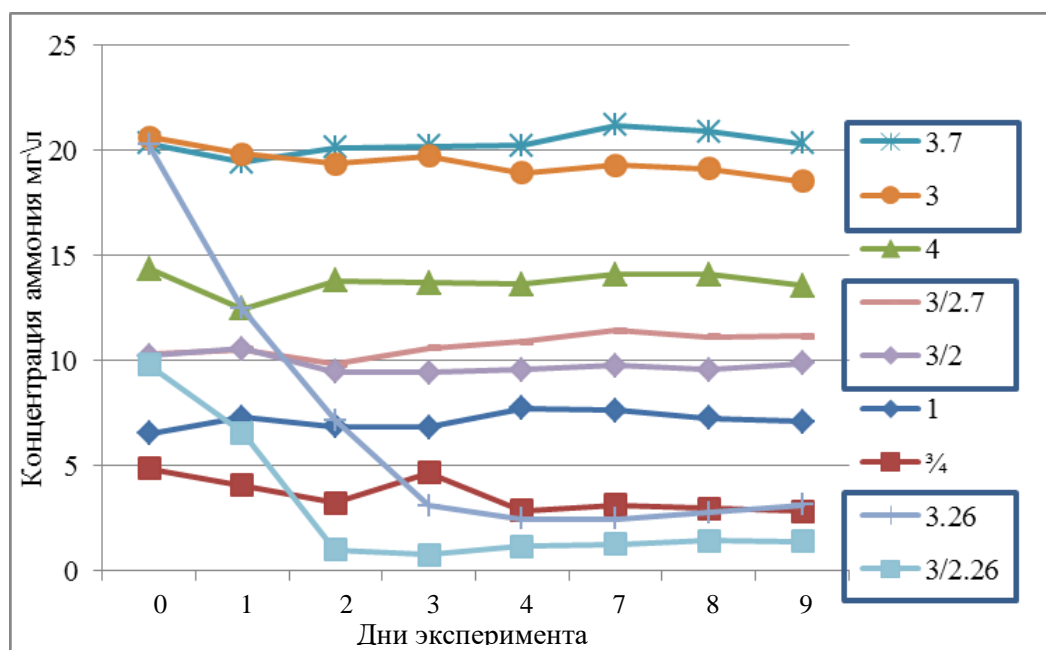


Рис. 3. Концентрация аммония (мг/л) в пробах воды в ходе экспериментов
Расшифровка индексов проб соответствует индексации на предыдущих рис. 1, 2.

Согласно представленным на рис. 3 результатам концентрация аммония в пробах с температурой культивирования 7 и 17°C менялась незначительно. Наибольший интерес представляют пробы с температурой культивирования 26°C и сравнение концентрации аммония в тех же пробах с другой температурой культивирования.

Так, для рассмотрения интересны пробы двух групп: 3.7; 3; 3.26 и 3/2.7; 3/2; 3/2.26. Внутри групп пробы с одной исходной концентрацией аммония различаются условиями эксперимента: по одной пробе с температурой культивирования 7, 17, 26°C, соответственно. Сами группы отличаются исходной концентрацией аммония в воде. В первой группе исходная концентрация аммония в два раза выше благодаря разбавлению исходной воды.

На примере обеих групп видна аналогичная картина по изменению концентрации аммония. В пробах, культивируемых при температуре 26°C – 3.26 и 3/2.26, наблюдается быстрое снижение концентрации аммония в первые 2 – 3 дня. За это время концентрация аммония снижается в обоих образцах в 10 раз. Затем на 3 – 4 день концентрация аммония достигает минимального значения и выходит на плато. При этом скорость выхода на плато тем скорее, а финальная концентрация аммония тем ниже, чем ниже исходная концентрация в пробах.

Стоит отметить, что в пробах 3.26 и 3/2.26 установлено не только снижение концентрации аммония, но и максимальная концентрация биомассы микроводоросли, из чего можно сделать вывод о том, что водоросль использовала аммоний как питание для поддержания высокой скорости размножения.

При культивировании проб с температурой 17°C было зафиксировано снижение концентрации аммония, но не такое значительное, как при температуре 26°C. Снижение концентрации за 9 суток составило 2 и 0,3 мг в разных пробах. Причем большее снижение аммония было зафиксировано при большей исходной концентрации вещества. При температуре культивирования 7°C не было зафиксировано существенного изменения концентрации аммония в воде.

Заключение

Можно сделать вывод, что в условиях эксперимента прирост биомассы зависел от двух факторов: температуры и концентрации аммония. При температуре 26°C наблюдалась максимальная биомасса микроводоросли. В том случае, когда температура была низкой для развития микроводоросли, ее конечная концентрация биомассы оказалась выше в тех пробах, которые имели более высокую концентрацию аммония.

В случае, когда микроводоросль *Chlorella vulgaris* находилась в условиях, приближенных к идеальным для вида, она активно наращивала биомассу и поглощала аммоний, что позволило снизить концентрацию аммония в пробах воды в 10 раз за 2 – 3 дня в зависимости от исходной концентрации.

Данные результаты свидетельствуют о возможности применения микроводоросли *Chlorella vulgaris* в качестве агента, очищающего сточные воды от аммония, в том числе сточные воды горнодобывающих производств. При этом результаты экспериментов показывают, что поглощение аммония происходит эффективно при температуре 26°C и неэффективно при температурах 7 и 17°C, что затрудняет применение микроводоросли в большинстве регионов России из-за суровых климатических условий. В регионах и странах, где температура воды не опускается ниже 26°C, *Chlorella vulgaris* перспективна для поглощения аммония в прудах-отстойниках. В регионах с более суровыми климатическими условиями и низкими среднегодовыми температурами перспективна разработка биореакторов, в которых будут поддерживаться все оптимальные условия для микроводоросли.

Сточные воды горнодобывающих производств загрязняются не только аммонийной формой азота, но и нитратами, нитритами, а также другими загрязнителями: фосфором, тяжелыми металлами. Необходимо дальнейшее исследование способности микроводорослей поглощать и другие виды загрязнителей.

Помимо *Chlorella vulgaris* существуют и другие виды водорослей и, в частности, виды *Chlorella*, которым соответствуют другие оптимальные условия, в том числе температурный режим. Имеет смысл рассмотреть и другие организмы для успешного очищения сточных вод от аммония в разных климатических условиях.

Список литературы

1. Рыбникова Л.С., Наволокина В.Ю., 2020. Оценка состояния гидросферы в верховьях бассейна реки Тагил (Свердловская обл.). *Проблемы недропользования*, №. 2 (25), С. 81 – 89. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.081
2. Солнышкова М.А., 2020. *Снижение загрязнения поверхностных вод неорганическими соединениями азота в зоне воздействия горнодобывающих предприятий Мурманской области*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург.
3. Хохряков А.В., Студенок А.Г., Студенок Г.А., 2016. Исследование процессов формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота на примере карьера крупного горного предприятия. *Известия Уральского государственного горного университета*, № 4 (44), С. 35 – 37.
4. Jermakka J., Wendling L., Sohlberg E., Heinonen H., Vikman M., 2014. Potential technologies for the removal and recovery of nitrogen compounds from mine and quarry waters in subarctic conditions. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, № 45 (7), P. 703 – 748.
5. Babatunde A.O. et al., 2011. On the fit of statistical and the k-C * models to projecting treatment performance in a constructed wetland system. *J. Environ Sci. Heal.*, V. 46 (5), P. 490 – 499.
6. Иванова Л.А. и др., 2021. *Пора очищать Арктику. Создание фитоочистной системы для доочистки сточных вод горнорудных предприятий от минеральных соединений азота*. Апатиты: Издательство Кольского научного центра, 88 с.

7. Савичев О.Г., 2008. Биологическая очистка сточных вод с использованием болотных биогеоценозов. *Известия Томского политехнического университета*, Т. 312, № 1, С. 69–74.
8. Мешенгиссер Ю.М., Щетинин А.И., Есин М.А., 2006. Удаление азота и фосфора активным илом. *Коммунальное хозяйство городов*, № 74, С. 36 – 45.
9. Зубов М.Г. и др., 2013. Биотехнология очистки сточных вод с иммобилизацией активного ила и удалением азота. *Водоснабжение и санитарная техника*, № 8, С. 72 - 75.
10. Дубовик О.С., Маркевич Р.М., 2016. Совершенствование биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод. *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*, № 4, С. 186.
11. Солнышкова М.А., Пашкевич М.А., 2018. Исследование эффективности биологической очистки воды от нитратов с помощью биоплато. *Естественные и технические науки*, № 5 (119), С. 169 – 173.
12. Кирилина Т.В., До Тхи Тху Ханг, Сироткин А.С., 2013. Оценка эффективности доочистки сточных вод с использованием одноклеточных и многоклеточных гидробионтов. *Вестник Казанского технологического университета*, №8(16), С. 200 – 203.

References

1. Rybnikova L.S., Navolokina V.Yu., 2020. Otsenka sostoyaniya gidrosfery v verkhov'yakh basseina reki Tagil (Sverdlovskaya obl.) [Assessment of the state of the hydrosphere in the upper reaches of the Tagil River basin (Sverdlovsk region)]. *Problemy nedropol'zovaniya*, №. 2 (25), S. 81 – 89. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.081
2. Solnyshkova M.A., 2020. Snizhenie zagryazneniya poverkhnostnykh vod neorganicheskimi soedineniyami azota v zone vozdeystviya gornodobyvayushchikh predpriyatii Murmanskoi oblasti [Reduction of surface water pollution by inorganic nitrogen compounds in the impact zone of mining enterprises of the Murmansk region]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Sankt-Peterburg.
3. Khokhryakov A.V., Studenok A.G., Studenok G.A., 2016. Issledovanie protsessov formirovaniya khimicheskogo zagryazneniya drenaznykh vod soedineniyami azota na primere kar'era krupnogo gornogo predpriyatiya [Investigation of the formation processes of chemical pollution of drainage waters by nitrogen compounds on the example of the quarry of a large mining enterprise]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, № 4 (44), P. 35 – 37.
4. Jermakka J., Wendling L., Sohlberg E., Heinonen H., Vikman M., 2014. Potential technologies for the removal and recovery of nitrogen compounds from mine and quarry waters in subarctic conditions. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, № 45 (7), P. 703 – 748.
5. Babatunde A.O. et al., 2011. On the fit of statistical and the k-C * models to projecting treatment performance in a constructed wetland system. *J. Environ Sci. Heal.*, V. 46 (5), P. 490 – 499.
6. Ivanova L.A. i dr., 2021. Pora ochishchat' Arktiku. Sozdanie fitoochistnoi sistemy dlya doochistki stochnykh vod gornorudnykh predpriyatii ot mineral'nykh soedinenii azota [Time to clean the Arctic. Creation of the phyto-purification system for the post-treatment of wastewater of mining enterprises from mineral nitrogen compounds]. Apatity: Izdatel'stvo Kol'skogo nauchnogo tsentra, 88 p.
7. Savichev O.G., 2008. Biologicheskaya ochistka stochnykh vod s ispol'zovaniem bolotnykh biogeotsenozov [Biological wastewater treatment using swamp biogeocenoses]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, V. 312, № 1, P. 69–74.
8. Meshengisser Yu.M., Shchetinin A.I., Esin M.A., 2006. Udalenie azota i fosfora aktivnym ilom [Removal of nitrogen and phosphorus by activated sludge]. *Kommunal'noe khoziaistvo gorodov*, № 74, P. 36 – 45.

9. Zubov M.G. i dr., 2013. Biotekhnologiya ochistki stochnykh vod s immobilizatsiei aktivnogo ilya i udaleniem azota [Biotechnology of wastewater treatment with active sludge immobilization and nitrogen removal]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika, № 8, P. 72 - 75.

10. Dubovik O.S., Markevich R.M., 2016. Sovershenstvovanie biotekhnologii udaleniya azota i fosfora iz gorodskikh stochnykh vod [Improvement of the biotechnologies for the removal of nitrogen and phosphorus from urban wastewater]. Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologiya, geoekologiya, № 4, P. 186.

11. Solnyshkova M.A., Pashkevich M.A., 2018. Issledovanie effektivnosti biologicheskoi ochistki vody ot nitratov s pomoshch'iu bioplato [Investigation of the effectiveness of biological water purification from nitrates using a bioplateau]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki, № 5 (119), P. 169 – 173.

12. Kirilina T.V., Do Tkhi Tkhu Khang, Sirotkin A.S., 2013. Otsenka effektivnosti doochistki stochnykh vod s ispol'zovaniem odnokletochnykh i mnogokletochnykh gidrobiontov [Evaluation of the efficiency of wastewater treatment using unicellular and multicellular hydrobionts]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta, №8(16), P. 200 – 203.