

ОПТИМИЗАЦИЯ АРКТИЧЕСКИХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ НЕТРАДИЦИОННЫМ МЕТОДОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

А.В. Лусис, Общество с ограниченной ответственностью «Эвобласт», г. Москва, Россия
Т.Т. Горбачева, Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН),
г. Апатиты, Россия
Л.А. Иванова, Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН (ПАБСИ КНЦ РАН),
г. Кировск, Россия

Аннотация. Показана принципиальная возможность формирования высококачественных фитоценозов на объектах размещения отходов горнообогатительного производства без землевания и нанесения защитных реагентов. В условиях серии лабораторных экспериментов с имитацией поверхностного орошения техногрунта региональными отходами (муниципальными сточными водами) подтвержден стимулирующий эффект их применения. Наделенные высоким содержанием легкодоступного для микробиоты органического вещества, благоприятным уровнем pH, а также лабильностью азота, фосфора и калия они являются эффективным мелиорантом, способствующим созданию благоприятных эдафических условий, ускоряющих процесс самозарастания поверхности рекультивируемых нефелиновых песков в условиях Крайнего Севера. Поверхностное орошение муниципальными стоками может служить одной из мер создания и поддержания устойчивости растительного покрова на малоплодородных грунтах карьерных выработок, техногенных массивов, городских территорий. Эффект, полученный в лабораторных условиях, требует верификации в условиях полевого эксперимента.

Ключевые слова: апатит-нефелиновые руды, отходы обогащения, рекультивация, осветленные коммунальные стоки, восстановительная сукцессия, растительный ценоз, биогенность техногрунта (NPK-статус), мелиоранты, усвоение питательных веществ, семена тимopheевки луговой.

OPTIMIZATION OF ARCTIC MAN-MADE LANDSCAPE BY NON-TRADITIONAL METHOD OF BIOLOGICAL RECLAMATION

A.V. Lusis, Environment and Security (SHES) specialist limited liability company «Evoblast», Moscow, Russia
T.T. Gorbachova, Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Russia
L.A. Ivanova, N.A. Aurorin Polar Alpine Botanical Garden Institute, Kirovsk, Russia

Abstract: The principal possibility of the formation of high-quality phytocenosis at the sites of waste disposal of mining and processing production without earthing and applying protective reagents is shown. Under the conditions of a series of laboratory experiments with imitation of surface irrigation of techno-soil with regional waste (municipal wastewater), the stimulating effect of their use was confirmed. Endowed with a high content of organic matter easily accessible to the microbiota, a favorable pH level, as well as the lability of nitrogen, phosphorus and potassium, they are an effective ameliorant that contributes to the creation of favorable edaphic conditions that accelerate the process of self-overgrowth of the surface of reclaimed nepheline sands in the Far North. Surface irrigation with municipal wastewater can serve as one of the measures to create and maintain the stability of vegetation cover on infertile soils in mined sand quarries, technogenic massifs, and urban areas. The effect obtained in the laboratory requires verification in the conditions of a field experiment.

Keywords: apatite-nepheline ore enrichment waste, reclamation, clarified municipal wastewater, restorative succession, plant census, biogenesis of man-made soil (NPK rating) ameliorants, nutrient uptake, семена тимopheевки луговой (Phleum pratense).

Значительная потребность страны в минерально-сырьевых ресурсах, необходимость разработки месторождений и переработки полезных ископаемых являются причиной уничтожения почв и растительного покрова на огромных, ежегодно растущих площадях, возникновению многочисленных отвалов отходов рудообогатения (хвостохранилищ) [1], которые могут представлять серьезную угрозу окружающей среде, увеличивая концентрации химических элементов в воздухе, воде и почве окружающих территорий [2-4].

В практике горнорудных предприятий РФ одним из способов экологической реабилитации обширных территорий хвостохранилищ является отведение их части под самозарастание. При превышении площади проективного покрытия участков самозарастания более чем на 50% дополнительных мер стимулирования, как правило, не требуется. При меньших показателях рекомендуется проведение биологических методов рекультивации, в том числе с поверхностным или внутригрунтовым орошением стоками муниципальных

предприятий водопроводно-канализационных хозяйств (ВКХ) [5]. Данный метод является разновидностью химической мелиорации, направленной, прежде всего, на улучшение их эдафических свойств, что обусловлено, благоприятным для удобрительных поливов, многокомпонентным макро- и микроэлементным [6-8], а также органическим [9], в том числе микробного [10] происхождения составом стоков.

В последние годы существенно расширяется область применения коммунальных стоков в горной промышленности, главным образом на месторождениях сульфидных руд. [11-14]. Благодаря их высокой кислотонейтрализующей и комплексообразующей способности, смешение с ними высокоагрессивных дренажных вод позволяет существенно снизить экологическую опасность побочных продуктов добычи в местах разработки руд цветных металлов. При этом основным направлением признавалась активизация почвообразовательных процессов для эффективного задернения территорий, нарушенных золотоотвалами и хвостохранилищами, однако широкого распространения в РФ такой способ не получил.

Цель работы: оценка возможности использования нетрадиционного мелиоранта на основе региональных осветленных коммунальных стоков (ОКС) для стимулирования восстановительной сукцессии на нефелиновых отвалах и повышения эффективности их химической мелиорации.

Объект и методы исследования. Объектом исследований являлись нефелиновые пески, отобранные на одном из крупнейших в Мурманской области хвостохранилище АНОФ-2 АО «Апатит» в виде усредненной пробы лежалых хвостов. По гранулометрическому составу техногрунт относится к песчаной фракции, результаты его валового анализа приведены в работе [15].

В общей сложности проведено три лабораторных эксперимента. Интенсивность освещения в помещении составляла в пасмурные дни 6, в солнечные — 20 кЛк, температура воздуха — не превышала 22-23°C, влажность воздуха — 60%. Для формирования фитоценозов использовались пластиковые емкости размером 13,0×9,5×3,5 см, в которые помещался техногенный грунт массой 340 г слоем 3 см. На его поверхность высевались семена тимopheевки луговой (*Phleum pratense*) при норме посева 66 г/м².

Коммунальные стоки для орошения отбирались после первичных отстойников — на промежуточной стадии водочистки, осуществляемой на региональных канализационных очистных сооружениях АО «Апатитводоканал» средней мощности (26 тыс. м³ в сутки). Химический состав использованных ОКС приведен в табл. 1. Данные производственного мониторинга указывают на большое содержание в стоках питательных элементов (К, Са, Mg, Р, аммонийного N) в доступных для растений водорастворимых формах. Относительно высокие значения ХПК и БПК₅ стоков позволяют предполагать инокуляцию нефелиновых песков после их орошения, сопровождающуюся повышением биогенности таких техногрунтов за счет роста микробиологической активности [10, 16]. Такое же предположение можно считать обоснованным и в отношении дождевой воды в связи с наличием в ней взвешенных частиц, которые признаются основными источниками микробиологического загрязнения атмосферных выпадений [17-20].

Таблица 1 / Table 1

Химический состав ОКС* / Chemical characteristics of OKS*.

Параметр / Characteristics	Значение / Component content	Параметр / Characteristics	Значение / Component content
pH	7.63	Cl ⁻ , мг/л / mg/l	31.31
Взвешенные вещества, мг/л / suspended materials, mg/l	67.6	P-PO ₄ ³⁻ , мг/л / mg/l	1.83
Сухой остаток, мг/л / dry particles mg/l	290	SO ₄ ²⁻ , мг/л / mg/l	32.26
ХПК, мг O ₂ /л / chemical oxygen demand (COD), mO ₂ g/l	223.7	K, мг/л / mg/l	7.50
БПК ₅ , мгO ₂ /л / biochemical oxygen demand (BOD ₅), mgO ₂ /l	117.7	Na, мг/л / mg/l	30.0
NH ₄ ⁺ , мг/л / mg/l	25.74	Ca, мг/л / mg/l	14.5
NO ₂ ⁻ , мг/л / mg/l	0.14	Mg, мг/л / mg/l	3.52
NO ₃ ⁻ , мг/л / mg/l	0.30	Fe, мг/л / mg/l	1.29

*Примечание: По данным Испытательного центра качества вод АО «Апатитводоканал», аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.514427 / *Note: According to the «Apatityvodokanal» Joint Stock Company, accreditation certificate No. ROSS RU. 0001.514427

Орошение грунта ОКС водопроводной водой до полного насыщения проводилось согласно схемам экспериментов; дополнительная подкормка растений минеральными удобрениями не проводилась.

Схемы опытов 1 и 2 включали по два варианта ($n = 5$): 1 (опытный) вариант — с поверхностным орошением грунта отходов рудообогащения стоками, разбавленными в 50 раз; 2 (контрольный) вариант — с поверхностным орошением грунта водопроводной водой. Каждый вариант опыта проводился пятикратно. Первоначально перед посевом семян для увлажнения субстрата использовали по 40 мл жидкости на каждую емкость. После появления первых всходов полив осуществлялся ежедневно в дозе 25 мл на емкость (или в пересчете 20 м³/га), т.е. в целом орошение грунта за период проведения каждого опыта составило порядка 500 м³/га.

Схема опыта 3 включала 3 варианта ($n = 5$): 1 (контрольный) — орошение дождевой водой на протяжении всего эксперимента; 2 (опытный) — однократное орошение ОКС в начале эксперимента, затем — только дождевой водой; 3 (опытный) — орошение только ОКС в течение всего эксперимента. Орошение грунта ОКС и дождевой водой осуществлялось без их предварительной фильтрации. Последовательность орошения грунта ОКС либо дождевой водой при закладке данного опыта составляла 40 мл на емкость, затем через каждые три дня — по 35 мл. Суммарная норма полива за весь период данного эксперимента составила 38 л/м² (380 т/га).

Техногрунт перед проведением анализов доводился до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Анализ на остаточное содержание доступных форм К и Р проводился после его просеивания через сито 2 мм. Далее по аналогии с почвенными анализами готовилась вытяжка грунта с применением аммонийно-ацетатного буфера (pH = 4.65) при соотношении грунт-буферный раствор 1:10) [21]. Содержание калия в профильтрованной вытяжке определялось методом атомно-эмиссионной спектроскопии, фо-

сфора — фотоколориметрическим методом Ватанабэ по интенсивности синей окраски восстановленного фосфорно-молибденового комплекса (восстановитель — аскорбиновая кислота).

По окончании опытов наземная биомасса растений полностью срезалась, высушивалась до воздушно-сухого состояния и размалывалась. Далее навеска наземной части растительного материала (около 1 г) переводилась в азотнокислую вытяжку в открытой системе мокрого озонирования (установка Gerhard (Germany)) с применением концентрированной HNO_3 . Содержание калия в профильтрованной вытяжке определялось методом атомно-эмиссионной спектрометрии, фосфора — фотоколориметрическим методом Лоури-Лопеса по интенсивности синей окраски восстановленного фосфорно-молибденового комплекса (восстановитель — аскорбиновая кислота). Валовое содержание азота в растительном материале определялось методом Кьельдаля после озонирования навески в концентрированной серной кислоте в присутствии катализатора ($\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4$). Этот же метод использовался для определения общего азота в исходном грунте и остаточного содержания N в навеске растительного материала по окончании эксперимента.

Пролонгированность действия удобрительных поливов на питательный режим нефелиновых песков оценивалась путем сопоставления результатов остаточного содержания доступных форм K и P по окончании эксперимента с их подвижностью в лимоннокислой вытяжке исходного грунта (0.01 М раствор лимонной кислоты, соотношение 1:10). Выбор лимонной кислоты в качестве экстрагента обусловлен ее доминированием в составе фракции органических кислот почвенных растворов под посевными культурами [22]. К навеске 25 г грунта добавлялось 250 мл 0.01М раствора лимонной кислоты. В течение 6 часов проводилось непрерывное перемешивание смеси на магнитной мешалке ES-6120 (ЭКРОС) при температуре 20°C, после чего полученная суспензия фильтровалась через двойной фильтр «синяя лента». Химический анализ фильтрата на содержание калия и фосфора проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (Elan 9000). Результаты анализов грунта и растений выражались в мг/кг с пересчетом на абсолютно-сухую массу, для чего в отдельной навеске каждой пробы определялся коэффициент гигроскопической влажности.

Измерения биометрических показателей осуществлялись каждые 5 дней после посева семян. При обработке результатов экспериментов использовались методы описательной и сравнительной статистики (One-Way ANOVA, анализ данных в программе Microsoft Excel).

Результаты исследований и их обсуждение

ОКС как нетрадиционный мелиорант для стимулирования восстановительной сукцессии на хвостохранилище (по биотестированию) (лабораторный опыт №1).

Изучали ОКС АО «Апатитыводоканал» на соответствие показателям СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения» [23] в части оценки их токсичности в проращивании семян сельскохозяйственных культур. В данном документе в качестве таких культур для посева на полях орошения рекомендуются клевер, костер безостый, лисохвост луговой, тимopheвка луговая, овсяница луговая и тростни-

ковидные и др. виды. В эксперименте использовали тимopheвку луговую (*Phleum pratense*).

Наблюдения показали, что стоки положительно влияют на прорастание семян, рост и развитие растений в искусственно создаваемом фитоценозе. В течение всего периода рост растений в опытном варианте опережал их развитие в контроле. К концу опыта высота растительного покрова в первом варианте достигла 10 см, в то время как в контроле осталась ниже на 1-3 см. Отмечено превышение площади проективного покрытия растительного покрова в опытном варианте на 17-20% по сравнению с контролем (в абсолютных величинах 70 и 60 % соответственно). В отношении надземной биомассы растений выявлены статистически значимые ($p < 0.2$) различия между опытными и контрольными вариантами, что, наряду с различиями в обозначенных выше параметрах, свидетельствует о стимулирующем эффекте ОКС на рост и развитие растений [24].

ОКС как нетрадиционный мелиорант для стимулирования восстановительной сукцессии на хвостохранилище (по химическому составу мелиоранта) (лабораторный опыт №2.)

Оценку пригодности ОКС для стимулирования самозаращения хвостохранилища АНОФ-2 АО «Апатит» проводили по изучению химического состава стоков на содержание основных биогенных элементов (азота, фосфора, калия). Данные показатели утверждены СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения для сельскохозяйственных полей орошения (ЗПО)» [23]. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Оценка ОКС АО «Апатитыводоканал» на соответствие показателям СанПиН 2.1.7.573-96 / OKS evaluation of «Apatityvodokanal» Joint Stock Company for compliance with the indicators of SanPiN 2.1.7.573-96.

Показатель / Index	ОКС / OKS	Согласно СанПиН / According to the SanPiN
удобрительная ценность / fertilizer value	N<100 мг/л, P<30 мг/л, K<70 мг/л	Низкая / low
pH	7.21-7.85 (n=39)	соответствует для орошения кислых и щелочных почв / suitable for irrigation of acidic and alkaline soils
содержание суммы легкорастворимых солей в прокаленном сухом остатке / the content of the amount of easily soluble salts in the calcined dry residue	85-204 мг/л (n=39)	характерна для слабоминерализованных грунтов / typical for low-mineralized soils
соотношение одно- и двухвалентных катионов Na:(Ca+Mg), мг-экв/л / ratio of mono- and divalent cations Na:(Ca+Mg), mg-eq/l	1.3	существенно ниже утвержденного СанПиН показателя (4) для песчаных некарбонатных почв, осолонцевание не актуально / this is significantly lower than the indicator approved by SanPiN (4) for sandy non-calcareous soils, solonchization is not relevant

Содержание основных биогенных элементов в ОКС определялось по сумме аммонийного, нитратного и нитритного азота, фосфора фосфатов и валовому содержанию калия.

Согласно нормативам СанПиН, удобрительная ценность стоков была низкой ($N < 100$ мг/л, $P < 30$ мг/л, $K < 70$ мг/л), поэтому они не могут быть признаны пригодными для удобрительных поливов на ЗПО, но для принятия стимулирующих мер на хвостохранилищах приемлемы. Это подтверждается сопоставлением отчетных данных местного предприятия ВКХ с составом питательных растворов, рекомендуемых для гидропоники [25], а также обнадеживающими результатами предыдущего лабораторного опыта по биотестированию ОКС на тимофеевке луговой.

Вариабельность химического состава ОКС оценивалась по ежегодным отчетным данным АО «Апатитыводоканал» за июнь 2005–2017 гг. Выбор периода для оценки обусловлен предположением, что орошение в начале вегетационного периода (июне) является наиболее рациональным для грунтов с промывным водным режимом, обусловленным высокой долей пылевато-песчаной фракции, характерной для гранулометрического состава нефелиновых песков АНОФ-2 [26].

Показатель pH ОКС варьирует в пределах 7.21–7.85 ($n=39$), что соответствует требованиям СанПиН для орошения и кислых, и щелочных почв ЗПО.

Содержание суммы легкорастворимых солей оценивалось по данным о прокаленном сухом остатке ОКС, пределы варьирования содержания остатка 85–204 мг/л ($n=39$), что позволяет классифицировать стоки как слабоминерализованные. В соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.573–96, солесодержание в оросительной воде не должно превышать 3 г/л для песчаных почв.

Соотношение одно- и двухвалентных катионов определялось по отношению нормальной концентрации натрия к сумме кальция и магния, выраженной в мг-экв/л. Величина отношения для ОКС варьирует в пределах 1.3, что существенно ниже утвержденного СанПиН показателя для песчаных некарбонатных почв, равного 4. Отсюда следует, что проблема осолонцевания грунта хвостохранилищ под действием ОКС не актуальна.

Таким образом, согласно результатам вышеприведенных оценок, ОКС «Апатитыводоканал» по химическим показателям пригодны для стимулирования восстановительной сукцессии на апатитонепелиновом хвостохранилище.

Химическая мелиорация хвостохранилищ нефелиновых песков осветленными коммунальными стоками:

1). Биогенность техногенного грунта.

Считается, что нефелиновые пески лишены органического вещества биогенного происхождения и связанного с ним азота [26]. Однако в ходе химического анализа исход-

ного грунта нами определено низкое, но не нулевое среднее содержание ($n=3$) в нем азота, а именно 9.77 мг/кг. Это можно объяснить остаточным содержанием в грунте азотсодержащих флотоагентов и возможной азотфиксацией в поверхностном слое лежалых грунтов. Установлено, что отходы рудобогащения, выходящие с предприятия АНОФ-2, содержат как сапротрофные бактерии, использующие азот органических соединений, так и бактерии, утилизирующие минеральный азот [27]. В этой же работе отмечено возрастание численности микроорганизмов в самом технологическом процессе переработки руды, условия которого способствуют размножению бактерий. Согласно [26] техногенный грунт хвостохранилища содержит микроорганизмы (бактерии, грибы), суммарная биомасса которых достигает в среднем 37 мг/кг субстрата в свеженамытых хвостах и 56 мг/кг в лежалых отходах. В работах [28, 29] на хвостохранилище АНОФ-2 образуется поверхностная криптогамная корка, содержащая цианопрокариоты, которые являются основными азотфиксаторами, повышающими азотный пул складированных песков.

Следует подчеркнуть, что и без химической мелиорации с применением ОКС отмечается высокий азотный пул техногенного грунта после изъятия биомассы. Так, в контрольном варианте остаточный уровень $N_{\text{общ}}$ в 11 раз превышает исходное содержание (табл. 3), что невозможно объяснить только привнесением соединений азота с дождевой водой. При вычислении массовых потоков N с учетом его изъятия зеленой биомассой выявлено, что вынос азота растениями существенно выше его поступления с ОКС, даже с учетом возможного содержания в них органических форм азота, не принимающихся во внимание в ходе производственного мониторинга состава стоков.

Следовательно, накопление азота в эксперименте связано не только с азотфиксирующей деятельностью микроорганизмов, присутствующих в грунте изначально и привнесенных с оросительной водой, в частности, в составе инокулированных взвесей. Вероятно, имеет место трансформация различных форм азота в пределах микробиологической пленки, формирующейся на нефелиновом субстрате, функционирующем по сути как медленный песчаный фильтр. Биогенная трансформация может как повысить, так и понизить остаточный уровень общего содержания азота. Многократное внесение легкодоступного органического вещества с ОКС в варианте (3) могло стимулировать денитрификационную активность микробиоты песков, что способствовало удалению части азота из сферы реакции в молекулярной форме (N_2). Этим можно объяснить для варианта с многократным внесением ОКС

Таблица 3 / Table 3

Среднее остаточное содержание N, P, K в техногенном грунте по окончании эксперимента / Average residual content of N, P, K in technogenic soil at the end of the experiment.

Показатель / Index	$N_{\text{общ}}$, мг/кг / N_{total} , mg/kg			Доступный P, мг/кг / Available P, mg/kg			Доступный K, мг/кг / Available K, mg/kg		
	(1)*	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Среднее / Average	108.1	101.5	99.3	51.6	42.2	45.2	2130.2	2151.0	2417.6
% от валового содержания / % of gross content	-	-	-	0,98	0,80	0,86	5,13	5,18	5,83

*Примечание: Здесь и далее номер в скобках соответствует номеру опыта /

*Note: Here and further, the number in brackets corresponds to the experiment number

самое низкое остаточное содержание общего азота в грунте при самом высоком поступлении в него соединений этого элемента (табл. 3). Так, например, в [30] отмечено, что потеря азота в гидропонных системах, работающих на коммунальных стоках, за счет денитрификации признается одной из основных проблем, снижающих экономическую эффективность функционирования таких систем.

Высокое исходное валовое содержание калия и фосфора в нефелиновых песках обеспечило сохранение высокого уровня доступности для растений данных элементов питания и по окончании эксперимента (после изъятия зеленой биомассы) (табл. 3). Данные производственного мониторинга БПК₅ и ХПК коммунальных стоков (табл. 1), а также соотношение этих двух параметров свидетельствуют о высоком содержании в водах органического вещества, в частности, низкомолекулярных органических кислот. Эта фракция обладает высокой реакционной способностью, что способствует повышению подвижности/доступности калия и фосфора за счет их мобилизации из минеральных субстратов [22]. Однако, если с увеличением привноса органического вещества возрастает и остаточное содержание калия в грунте, то относительно доступности фосфора картина иная: максимум остаточного содержания его доступных форм отмечен после орошения дождевой водой. Возможной причиной может являться побочные эффекты влияния ОКС на грунт, а именно ассимиляция фосфора микробиотой, формирование трудно-растворимых фосфатов Ca, Fe, Al за счет вытеснения указанных элементов из тонкодисперсной фракции песков, образование ассоциатов фосфат-ионов с органическим веществом, внесенным в составе ОКС. При этом следует отметить, что остаточное содержание доступных форм К и Р в техногрунте остаются величинами, сопоставимыми с их содержанием в лимоннокислой вытяжке исходного грунта (табл. 4), что подтверждает пролонгированный эффект орошения на калий-фосфорный режим песков.

Таблица 4 / Table 4

Доступность К и Р в лимоннокислой вытяжке исходного грунта / Availability of K and P in the citrate extract of the initial soil.

Параметры / Characteristics	Валовое содержание, мг/кг [15] / Gross content, mg/kg [15]	0.01 М раствор лимонной кислоты / 0.01 M citric acid solution	
		мг/кг / mg/kg	% извлечения / % extraction
K	41500	1020	2.26
P	5276	45.7	0.49

2). Листовая диагностика по окончании эксперимента.

В ходе эксперимента отмечено активное накопление всех основных элементов питания (азота, фосфора, калия) в наземной части растений одновидового фитоценоза (табл. 5). Высокая обеспеченность посевной культуры указанными элементами выявлена и в контрольном варианте (с орошением дождевой водой). При этом коэффициент биологического поглощения всех элементов возрастал с увеличением количества внесенного ОКС, но линейной зависимости не наблюдалось. Такой быстрый отклик растений на оросительные поливы даже в условиях контрольного опыта нельзя объяснить возможным усилением микробиологической активности при благоприятных условиях проведения эксперимента. Высокая влажность грунта, оптимальные температура и освещенность, хорошая аэрация, поступление важных элементов питания (К, Р, Са, Mg, аммонийного и нитратного азота) с дождевой водой создают такие условия. Согласно данным государственного мониторинга [31], средневзвешенный химический состав осадков, выпадающих в регионе, следующий, мг/л: калий – 0.6, ион аммония – 0.2, нитрат-ион – 0.9, кальций – 1.2, магний – 0.3.

Весьма важным фактором роста доступности К и Р может являться относительно высокая кислотность (низкие значения pH) атмосферных выпадений в виде дождя, что является характерной особенностью даже условно-фоновых территорий крайнего Северо-Запада РФ [32].

По уровню накопления калия в сухой массе *Phleum pratense*, достигнутого в данной работе в опытах с применением ОКС, можно говорить о его соответствии вариантам с торфованием нефелиновых песков и выращиванием злаков на окультуренных подзолистых почвах региона [33]. Многократное орошение грунта дождевой водой обеспечило накопление фосфора с надземной фитомассе свыше 4000 мг/кг. Это превысило среднее содержание элемента в сухой массе тимфеевки луговой, выращенной на нефелиновых песках АНОФ-1 (2400 мг/кг в контроле, 2500 мг/кг при торфование), а также предел 3300 мг/кг, достигнутый на окультуренных подзолистых почвах региона [33]. Орошение песков ОКС в максимально достигнутой норме 380 т/га способствовало повышению уровня содержания фосфора в сухой массе тимфеевки луговой до 4800 мг/кг. Содержание фосфора в растениях во всех вариантах опыта соответствует оптимальным значениям для злаковых растений [34].

Содержание общего азота в наземной части тимфеевки луговой в контрольном варианте данного эксперимента совпадает с результатами полевых экспериментов ее выращи-

Таблица 5 / Table 5

Среднее валовое содержание N, P, K в наземной части *Phleum pratense* / Average total content of N, P, K in the ground part of *Phleum pratense*.

Показатель / Characteristics	N _{общ} , мг/кг / N _{total} , mg/kg			P _{общ} , мг/кг / P _{total} , mg/kg			K _{общ} , мг/кг / K _{total} , mg/kg		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Среднее / Average	23094	27980	30875	4048	4253	4774	26953	28488	32061
КПБ* / BCF	-	-	-	0.77	0.81	0.90	0.65	0.69	0.77

*Примечание: Коэффициент биологического поглощения (КПБ) – отношение содержания элемента в надземной части растений к его валовому содержанию в исходном грунте; для азота данный параметр не определяется /

*Note: Coefficient of biological absorption (BCF) – the ratio of the content of the element in the aerial parts of plants to its gross content in the initial soil; for nitrogen, this parameter is not determined.

вания на хвостохранилище АНОФ-1 без принятия каких-либо мелиоративных мер [33]. В свою очередь, даже при однократном орошении нефелиновых песков коммунальными стоками накопление азота в растениях достигает уровня, отмеченного для данной культуры в международной практике повышения питательной ценности кормов за счет применения высоких доз минеральных удобрений, в том числе комплексных (НРК) [35]. В варианте с многократным внесением ОКС (суммарно 380 т/га) получены результаты накопления азота в сухой массе *Phleum pratense*, соизмеримые с результатами листовой диагностики в полевых опытах на нефелиновых песках при внесении 100 т/га навоза как традиционного мелиоранта [33].

Заключение

Показана принципиальная возможность формирования искусственного фитоценоза на хвостохранилище апатитонефелинового производства без землевания и нанесения защитных реагентов с применением нетрадиционного мелиоранта ОКС АО «Апатитоводоканал».

Оценка ОКС АО «Апатитоводоканал» на соответствие показателям СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения кислых и щелочных почв ЗПО» (рН, содержание суммы легкорастворимых солей в прокаленном сухом остатке стоков и величина отношения одно- и двухвалентных катионов для ОКС), позволили классифицировать стоки как слабоминерализованные, соответствующие требованиям СанПиН, для которых проблема осолонцевания грунта хвостохранилищ под действием ОКС не актуальна.

Орошение ОКС песчаного апатитонефелинового субстрата положительно влияет на прорастание семян тимофеевки луговой и дальнейший рост и развитие растений в ис-

кусственно создаваемом фитоценозе, что свидетельствует о стимулирующем процессе самозарастания поверхности хвостохранилища эффекте ОКС.

В условиях лабораторного эксперимента с имитацией поверхностного орошения грунта подтвержден стимулирующий эффект применения нетрадиционных мелиорантов (нефильтрованной дождевой воды, осветленных коммунальных стоков и их комбинации) на питательный режим рекультивируемых нефелиновых песков.

Коэффициент биологического поглощения N, P, K надземной биомассой одновидового (*Phleum pratense*) сеянного фитоценоза при поверхностном орошении во всех вариантах соответствует оптимальным уровням накопления, определенных для злаковых растений в вариантах с торфованием, внесением и комплексных минеральных удобрений.

Выводы

1. Проведена оценка возможности использования нетрадиционного мелиоранта на основе региональных осветленных коммунальных стоков для стимулирования восстановительной сукцессии на нефелиновых отвалах и повышения эффективности их химической мелиорации.

2. Показана принципиальная возможность формирования высококачественных фитоценозов на объектах размещения отходов горнообогатительного производства без землевания и нанесения защитных реагентов.

3. Поверхностное орошение муниципальными стоками может служить одной из мер создания и поддержания устойчивости растительного покрова на малоплодородных грунтах карьерных выработок, техногенных массивов, городских территорий.

4. Эффект, полученный в лабораторных условиях, требует верификации в условиях полевого эксперимента. ■

БЛАГОДАРНОСТИ / ПРИЗНАТЕЛЬНОСТЬ / ACKNOWLEDGMENTS:

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Мурманской области в рамках научного проекта 17-45-510205 «Дефосфотация коммунальных стоков в условиях снижения водопотребления» / The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Ministry of Education and Science of the Murmansk Region within the framework of the scientific project 17-45-510205 «Dephosphorization of municipal wastewater in conditions of reduced water usage».

ЛИТЕРАТУРА

1. Glotov V.E., Chlachula J., Glotova L.P., Little E. Causes and environmental impact of the gold/tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East // *Engineering Geology*. 2018. № 245. С. 236-247.
2. Маслобоев В.А., Бакланов А.А., Амосов П.В. Результаты оценки интенсивности пыления хвостохранилищ // *Вестник МГТУ*. 2016. Т. 19, № 1. С. 13-19.
3. Huang, X., Deng, H., Zheng, C., Cao, G. Hydrogeochemical signatures and evolution of groundwater impacted by the Bayan Obo tailing pond in northwest China // *Science of The Total Environment*. 2016. № 543. С. 357-372.
4. Schreiber A., Marx J., Zapp P., Hake J., Friedrich B. Environmental impacts of rare earth mining and separation based on eudialyte: a new European way // *Resources*. 2016. 5 (4). URL: <https://www.mdpi.com/2079/9276/5/4/32> (дата обращения 31.01.2021).
5. Давыдов, А.С. Опыт применения сточных вод для орошения /А.С. Давыдов, А.В. Тиньгаев, В.Б. Шепталов // *Вестник АГАУ*. 2008. №12. С. 43-45.
6. Harder R., Peters G.M., Svanstrom M., Khan S.J., Malander S. Estimating human toxicity potential of land application of sewage sludge: the effect of modeling choices // *International Journal of Life Cycle Assess.* 2017. Vol.22 (5). pp. 731-743.
7. Zema D.A., Bombino G., Andiloro S., Zimbone S.M. Irrigation of energy crops with urban wastewater: effects on biomass yields, soils and heating values // *Agricultural Water Management*. 2012. Vol.115. pp. 55-65.
8. Norton-Brandao D.J., Scherrenberg S.M., van Llier J.B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes. A review of treatment technologies // *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 122. pp. 85-98
9. Chen W., Wu L., Frankenberger W.T., Chang A.C., Soil enzyme activities of long term reclaimed wastewater-irrigated soils // *Journal of Environmental Quality*. 2008. Vol. 37. pp. 36-42.

10. Kunacheva C., David C. Stuckey D.C. Analytical methods for soluble microbial products (SMP) and extracellular polymers (ECP) in wastewater treatment systems: A review // *Water Research*. 2014. Vol. 61. pp. 1-18.
11. Tapiia A., Cornejo-La Torreb M., Santosc E.S., Arand D., Gallardoe A. Improvement of chemical quality of percolated leachates by in situ application of aqueous organic wastes on sulfide mine tailings // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 244. pp. 154-160.
12. Kefeni K.K., Msagati T.A.M., Mamba B.B., Acid mine drainage: prevention, treatment options, and resource recovery: a review // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol.151. pp. 475-493.
13. Smyntek P.M., Chastel J., Peer R., Anthony E., McCloskey J., Bach E., Wagner R., Bandstra J., Strosnider W. Assessment of sulphate and iron reduction rates during reactor start-up for passive anaerobic co-treatment of acid mine drainage and sewage // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2017. Vol. 18 (1). pp. 76-84.
14. Younger P., Henderson R. Synergistic wetland treatment of sewage and mine water: pollutant removal performance of the first full-scale system // *Water Research*. 2014. Vol. 55. pp. 74-82.
15. Masloboev V.A., Svetlov A.V., Konina O.T., Mitrofanova G.V., Turtanov A.V., Makarov D.V. Selection of binding agents for dust prevention at tailings ponds at apatite-nepheline ore processing plants // *Journal of Mining Science*. 2018. Vol. 54. № 2. pp. 329-338.
16. Kauppinen A., Martikainen K., Matikka V., Veijalainen A.-M., Pitkanen T., Heinonen-Tanski, H. Sand filters for removal of microbes and nutrients from wastewater during a one-year pilot study in a cold temperate climate // *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol.133. pp. 206-213.
17. Ahmed W., Staley C., Hamilton K.A., Beale D.J., Sadowsky M.J., Toze S., Haas C.N. Amplicon-based taxonomic characterization of bacteria in urban and peri-urban roof-harvested rainwater stored in tanks // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 576. pp. 326-334.
18. Kaushik R., Balasubramanian R., de La Cruz A.A. Influence of air quality on the composition of microbial pathogens in fresh rainwater // *Applied and Environmental Microbiology* 2012. Vol. 78. pp. 2813-2818.
19. Campisano A., Butler D., Ward S., Burns S.M.J., Han M. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives // *Water Research*. 2017. Vol. 115. pp. 195-209.
20. Zhao Y, Wang X, Liu C, Wang S, Wang X, Hou H, Wang J, Li H. Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 674. pp. 344-354.
21. Halonen O., Tulkki H., Derome J. Nutrient analysis methods // *Research Notes from the Finnish Forest Research Institute*. 1983. Vol. 121. 88 p.
22. Jones D.L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review // *Plant and Soil*. 1998. Vol. 205. pp. 25-44.
23. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения / М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. - 54 с.
24. Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А. Применение осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) в качестве мелиорантов для рекультивации отвалов отходов рудообогатения (хвостов). Международная научно, 23 - 26 сентября 2019 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. В. Ляминой. - Севастополь: СевГУ, 2019. - С. 940-944.
25. Иванова Л. А. Перспективы гидропонного выращивания растений в условиях Мурманской области / Л. А. Иванова, В. А. Котельников. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. 106 с.
26. Евдокимова Г.А., Переверзев В.Н., Зенкова И.В., Корнейкова М.В., Редькина В.В. Эволюция техногенных ландшафтов (на примере отходов апатитовой промышленности) / - Апатиты: изд-во Кольского НЦ РАН, 2010. - 146 с.
27. Евдокимова Г.А., Гершенкоп А.Ш., Воронина Н.В., Микробиологические процессы в системе добычи и переработки апатит-нефелиновых руд с использованием оборотного водоснабжения. СПб.: Наука, 2008. 102 с.
28. Шалыгина Р.Р., Редькина В.В. Предварительные результаты анализа таксономического состава водорослей и цианобактерий в хвостах обогащения апатит-нефелиновых руд АНОФ-2. // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения* Материалы VI Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 120-летию со дня рождения Г.М. Крепса и 110-летию со дня рождения О.И. Семенова-Тян-Шанского. 2016. С. 163-165.
29. Redkina V.V., Korneykova M.V., Shalygina R.R. Microorganisms of the Technogenic Landscapes: The Case of Nepheline-Containing Sands, the Murmansk Region // *Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature*. 2019. pp. 561-579.
30. Kuypers M.M.M., Marchant H.K., Kartul B. The microbial nitrogen-cycling network // *Nature Review Microbiology*. 2018. Vol. 16. pp. 263-276.
31. Семенец Е.С., Свистов П.Ф., Талаш А.С. Химический состав атмосферных осадков Российского Заполярья // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2017. Т. 328. № 3. С.27-36.
32. Першина Н.А., Полищук А.И., Свистов П.Ф. К вопросу о закислении атмосферных осадков в Российской Арктике // *Труды ГГО*. 2008. Т. 558. С. 211-232.
33. Переверзев В.Н., Подлесная Н.И. Биологическая рекультивация промышленных отвалов на Крайнем Севере. Апатиты: Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1986. 103 с.
34. Haneklaus S.H., Schnug E. Assessing the Plant Phosphorus Status // *Phosphorus in Agriculture: 100 % Zero*. Springer, Dordrecht, 2016. pp. 95-125.
35. Bednarek W., Dresler S., Tkaczyk P. Nitrogen fractions in timothy grass (*Phleum pratense* L.) fertilized with different doses of mineral fertilizers // *Journal of Elementology*. 2015. Vol. 20(1). pp. 49-58.

REFERENCES

1. Glotov V.E., Chlachula J., Glotova L.P., Little E. Causes and environmental impact of the gold/tailings dam failure at Karamken, the Russian Far East // *Engineering Geology*. 2018. № 245. S. 236-247.
2. Masloboev V.A., Baklanov A.A., Amosov P.V. Rezul'taty ocenki intensivnosti pyleniya hvostohranilishch // *Vestnik MGTU*. 2016. Т. 19, № 1. S. 13-19.
3. Huang, X., Deng, H., Zheng, C., Cao, G. Hydrogeochemical signatures and evolution of groundwater impacted by the Bayan Obo tailing pond in northwest China // *Science of The Total Environment*. 2016. № 543. S. 357-372.

4. Schreiber A., Marx J., Zapp P., Hake J., Friedrich B. Environmental impacts of rare earth mining and separation based on eudialyte: a new European way // *Resources*. 2016. 5 (4). URL: <https://www.mdpi.com/2079/9276/5/4/32> (data obrashcheniya 31.01.2021).
5. Davydov, A.C. Opyt primeneniya stochnyh vod dlya orosheniya /A.S. Davydov, A.B. Tin'gaev, V.B. Sheptalov // *Vestnik AGAU*. 2008. №12. S. 43-45.
6. Harder R., Peters G.M., Svanström M., Khan S.J., Malander S. Estimating human toxicity potential of land application of sewage sludge: the effect of modeling choices // *International Journal of Life Cycle Assess.* 2017. Vol.22 (5). pp. 731-743.
7. Zema D.A., Bombino G., Andiloro S., Zimbone S.M. Irrigation of energy crops with urban wastewater: effects on biomass yields, soils and heating values // *Agricultural Water Management*. 2012. Vol.115. pp. 55-65.
8. Norton-Brandao D.J., Scherrenberg S.M., van Lier J.B. Reclamation of used urban waters for irrigation purposes. A review of treatment technologies // *Journal of Environmental Management*. 2013. Vol. 122. pp. 85-98
9. Chen W., Wu L., Frankenberger W.T., Chang A.C., Soil enzyme activities of long term reclaimed wastewater-irrigated soils // *Journal of Environmental Quality*. 2008. Vol. 37. pp. 36-42.
10. Kunacheva S., David C. Stuckey D.C. Analytical methods for soluble microbial products (SMP) and extracellular polymers (ECP) in wastewater treatment systems: A review // *Water Research*. 2014. Vol. 61. pp. 1-18.
11. Tapias A., Cornejo-La Torre M., Santosc E.S., Arand D., Gallardoe A. Improvement of chemical quality of percolated leachates by in situ application of aqueous organic wastes on sulfide mine tailings // *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 244. pp. 154-160.
12. Kefeni K.K., Msagati T.A.M., Mamba B.B., Acid mine drainage: prevention, treatment options, and resource recovery: a review // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol.151. pp. 475-493.
13. Smyntek P.M., Chastel J., Peer R., Anthony E., McCloskey J., Bach E., Wagner R., Bandstra J., Strosnider W. Assessment of sulphate and iron reduction rates during reactor start-up for passive anaerobic co-treatment of acid mine drainage and sewage // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2017. Vol. 18 (1). pp. 76-84.
14. Younger P., Henderson R. Synergistic wetland treatment of sewage and mine water: pollutant removal performance of the first full-scale system // *Water Research*. 2014. Vol. 55. pp. 74-82.
15. Masloboev V.A., Svetlov A.V., Konina O.T., Mitrofanova G.V., Turtanov A.V., Makarov D.V. Selection of binding agents for dust prevention at tailings ponds at apatite-nepheline ore processing plants // *Journal of Mining Science*. 2018. Vol. 54. № 2. pp. 329-338.
16. Kauppinen A., Martikainen K., Matikka V., Veijalainen A.-M., Pitkanen T., Heinonen-Tanski, H. Sand filters for removal of microbes and nutrients from wastewater during a one-year pilot study in a cold temperate climate // *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol.133. pp. 206-213.
17. Ahmed W., Staley C., Hamilton K.A., Beale D.J., Sadowsky M.J., Toze S., Haas C.N. Amplicon-based taxonomic characterization of bacteria in urban and peri-urban roof-harvested rainwater stored in tanks // *Science of the Total Environment*. 2017. Vol. 576. pp. 326-334.
18. Kaushik R., Balasubramanian R., de La Cruz A.A. Influence of air quality on the composition of microbial pathogens in fresh rainwater // *Applied and Environmental Microbiology* 2012. Vol. 78. pp. 2813-2818.
19. Campisano A., Butler D., Ward S., Burns S.M.J., Han M. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives // *Water Research*. 2017. Vol. 115. pp. 195-209.
20. Zhao Y, Wang X, Liu C, Wang S, Wang X, Hou H, Wang J, Li H. Purification of harvested rainwater using slow sand filters with low-cost materials: Bacterial community structure and purifying effect // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 674. pp. 344-354.
21. Halonen O., Tulkki H., Derome J. Nutrient analysis methods // *Research Notes from the Finnish Forest Research Institute*. 1983. Vol. 121. 88 p.
22. Jones D.L. Organic acids in the rhizosphere - a critical review // *Plant and Soil*. 1998. Vol. 205. pp. 25-44.
23. «Gigienicheskie trebovaniya k ispol'zovaniyu stochnyh vod i ih osadkov dlya orosheniya i udobreniya» / M.: Informacionno-izdatel'skij centr Minzdrava Rossii, 1997.- 54 s.
24. Lusi A.V., Gorbacheva T.T., Ivanova L.A. Primenenie osvetlennyh kommunal'nyh stokov (OKS) i osadka stochnyh vod (OSV) v kachestve meliorantov dlya rekultivatsii otvalov othodov rudoobogashcheniya (hvostov). *Mezhdunarodnaya nauchno, 23 - 26 sentyabrya 2019 g.* / pod red. L. I. Lukinoy, N. V. Lyaminoj. - Sevastopol': SevGU, 2019. - S. 940-944.
25. Ivanova L. A. Perspektivy gidroponnogo vyrashchivaniya rastenij v usloviyah Murmanskoy oblasti / L. A. Ivanova, V. A. Kotel'nikov. *Apatity: Izd. KNC RAN*, 2006. 106 s.
26. Evdokimova G.A., Pereverzev V.N., Zenkova I.V., Kornejkova M.V., Red'kina V.V. Evolyuciya tekhnogennyh landshaftov (na primere othodov apatitovoj promyshlennosti) / - *Apatity: izd-vo Kol'skogo NC RAN*, 2010. - 146 s.
27. Evdokimova G.A., Gershenkop A.SH., Voronina N.V., Mikrobiologicheskie processy v sisteme dobychi i pererabotki apatit-nefelinovyh rud s ispol'zovaniem oborotnogo vodosnabzheniya. SPb.: Nauka, 2008. 102 s.
28. Shalygina R.R., Red'kina V.V. Predvaritel'nye rezul'taty analiza taksonomicheskogo sostava vodoroslej i cianobakterij v hvostah obogashcheniya apatit-nefelinovyh rud ANOF-2. // *Ekologicheskie problemy severnyh regionov i puti ih resheniya Materialy VI Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 120-letiyu so dnya rozhdeniya G.M. Krepsa i 110-letiyu so dnya rozhdeniya O.I. Semenova-Tyan-SHanskogo*. 2016. S. 163-165.
29. Redkina V.V., Kornejkova M.V., Shalygina R.R. Microorganisms of the Technogenic Landscapes: The Case of Nepheline-Containing Sands, the Murmansk Region // *Processes and Phenomena on the Boundary Between Biogenic and Abiogenic Nature*. 2019. pp. 561-579.
30. Kuypers M.M.M., Marchant H.K., Kartul B. The microbial nitrogen-cycling network // *Nature Review Microbiology*. 2018. Vol. 16. pp. 263-276.
31. Semenec E.S., Svistov P.F., Talash A.S. Himicheskij sostav atmosferyh osadkov Rossijskogo Zapolyar'ya // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring geosursov*. 2017. T. 328. № 3. S.27-36.
32. Pershina N.A., Polishchuk A.I., Svistov P.F. K voprosu o zakislenii atmosferyh osadkov v Rossijskoj Arktike // *Trudy GGO*. 2008. T. 558. S. 211-232.
33. Pereverzev V.N., Podlesnaya N.I. Biologicheskaya rekultivatsiya promyshlennyh otvalov na Krajnem Severe. *Apatity: Izd-vo Kol'skogo filiala AN SSSR*, 1986. 103 s.

34. Haneklaus S.H., Schnug E. Assessing the Plant Phosphorus Status // Phosphorus in Agriculture: 100 % Zero. Springer, Dordrecht, 2016. pp. 95-125.
35. Bednarek W., Dresler S., Tkaczyk P. Nitrogen fractions in timothy grass (*Phleum pratense* L.) fertilized with different doses of mineral fertilizers // Journal of Elementology. 2015. Vol. 20(1). pp. 49-58.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS



Лусис Аделина Вадимовна:
специалист по охране окружающей среды
и безопасности,
Общество с ограниченной ответственностью
«Эвобласт»,
г. Москва, Россия,
e-mail: adelina.lusis@evoblast.ru

Lusis Adelina Vadimovna:
Environment and Security specialist,
limited liability company «Evoblast»,
Moscow, Russia,
e-mail: adelina.lusis@evoblast.ru



Горбачева Тамара Тимофеевна:
кандидат биологических наук,
ведущий научный сотрудник,
ФГБУН Институт проблем промышленной
экологии Севера Федерального исследовательского
центра «Кольский научный центр Российской
академии наук»,
г. Апатиты, Россия

Gorbachova Tamara Timofeevna:
candidate of biological sciences,
leading researcher,
Institute of North Industrial Ecology Problems of Federal
research centre «Kola research centre of the Russian
Academy of Sciences»,
Apatity, Russia



Иванова Любовь Андреевна:
главный научный сотрудник,
доктор биологических наук,
ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-
институт им. Н.А. Аврорина Федерального
исследовательского центра «Кольский научный
центр Российской академии наук»,
г. Кировск, Россия

Ivanova Lyubov Andreevna:
N.A. chief researcher,
doctor of biological sciences,
Aurorin Polar Alpine Botanical Garden Institute
of Federal research centre «Kola research centre
of the Russian Academy of Sciences»,
Kirovsk, Russia

ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION:

Лусис А.В. — 34% — (Написание, оформление и корректура рукописи, работа с графическим материалом. Проведение исследований, отбор образцов, выполнение аналитических работ, анализ и систематизация данных). **Горбачева Т.Т.** и **Иванова Л.А.** — по 33% — (Разработка концепции и планирование исследований. Участие в проведении исследований, обобщении полученных результатов и формулировке выводов и написании статьи. Проведение консультаций по определенным вопросам) / **Lusis A.V.** — 34% — (Writing, designing and proofreading the manuscript, work with graphic material. Research, sampling, analytical work, analysis and systematization of data). **Gorbacheva T.T.** and **Ivanova L.A.** — 33% each — (Development of the concept and planning of the research. Participation in the research, summarizing the findings and formulating conclusions and writing the article. Advising on certain issues).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.



КАЗАНСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Информируем Вас



Подготовка студентов в Институте геологии и нефтегазовых технологий ведется по 2-м направлениям:
05.03.01 Геология и 21.03.01 «Нефтегазовое дело».

Контакты : 420008, Казань, Кремлевская 4/5, Институт геологии нефтегазовых технологий
Тел/факс: (843) 233-71-61. E-mai: geofak@kpfu.ru

WWW.N-GN.RU