

Альгосинузии пойменных лугов на техногенной территории

© 2017. Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор, с. н. с.,
Е. В. Дабах^{2,3}, к. б. н., доцент, с. н. с.,

¹ Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,

² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,

³ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,
e-mail: ecolab2@gmail.com

Изучена реакция почвенных водорослей и цианобактерий (ЦБ) пойменных луговых экосистем в окрестностях хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка Кировской области на техногенное загрязнение почв. Вследствие нарушения герметичности хвостохранилищ загрязняющие вещества просачивались в подземные воды и влияли на качество воды в пойменных озёрах. Для снижения минерализации вод было предложено использовать поглотительную способность почв и растений в отношении ионов азотной группы. С этой целью проводился эксперимент по поливу опытного полигона – пойменного луга – богатой азотом водой из озера. Этот полив сопровождался резким увеличением концентрации минерального азота в почве и возрастанием кислотности почв. Под влиянием техногенной нагрузки происходило уменьшение видового разнообразия микрофототрофов, перестройка структуры фототрофного блока, заключающаяся в исчезновении азотфиксирующих ЦБ, одноклеточных жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей. Затопление почв понижений паводковыми водами и поступление азота с поливными водами отражалось на таксономической и экологической структуре микрофототрофов. Экологическая структура альгофлоры почв повышенных участков пойменного луга с высоким содержанием азота характеризовалась преобладанием видов-убиквистов, а в понижениях – гидрофильных видов. При поливе рекомендованными дозами азота (400 кг/га) происходила стимуляция развития высших растений, и плотный растительный покров подавлял развитие водорослей и ЦБ. При избыточном внесении азота высшие растения отмирали, на свободных участках почвы появлялись куртины мха *Bryum capillare* Hedw., видовое разнообразие водорослей резко снижалось, развивались зелёные водоросли и солевывосливые диатомеи.

Ключевые слова: техногенная территория, азотное загрязнение, видовое разнообразие альгофлоры, экологическая структура альгофлоры.

Algosynusiae of floodplain meadows in the technogenic territory

L. V. Kondakova^{1,2}, E. V. Dabakh^{2,3},
¹ Vyatka State University,

36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

² Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,

³ Vyatka State Agricultural Academy,
133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,
e-mail: ecolab2@gmail.com

The reaction of soil algae and cyanobacteria (CB) of flooded meadow ecosystems in the vicinity of the tailing dumps of chemical enterprises of the town of Kirovo-Chepetsk in Kirov region to technogenic pollution of soils has been studied. Due to breach of tightness of tailing dumps, contaminants seeped into groundwater and affected the quality of water in floodplain lakes. To reduce water mineralization, it was suggested to use soils and plants capacity to absorb ions of the nitrogen group. For this purpose, an experiment was conducted to irrigate an experimental polygon – floodplain meadow – with nitrogen-rich water from the lake. This irrigation was accompanied by a sharp increase in concentration of mineral nitrogen in the soil, as well as an increase in soil acidity. Under the influence of anthropogenic load, the microphototropes species diversity decreased, the structure of the phototrophic block was rearranged, which consisted in disappearance of nitrogen fixing CB, unicellular yellow-green, and eustigmatophyte algae. Flooding of soils in low places with flood waters, as well as nitrogen supply with irrigated waters, was reflected

in taxonomic and ecological structure of microphototrophs. The ecological structure of soil algaeflora of elevated areas of floodplain meadow with a high nitrogen content was characterized by predominance of ubiquitous species, and in depressions by predominance of hydrophilic species. When watering with recommended doses of nitrogen (400 kg/ha), the development of higher plants was stimulated, and dense vegetation cover suppressed algae and CB growth. With excessive nitrogen deposition, higher plants died off, clumps of moss *Bryum capillare* Hedw. appeared on free soil areas. The species diversity of algae decreased sharply, green algae and salt-tolerant diatoms developed.

Keywords: technogenic territory, nitrogen pollution, species diversity of algaeflora, ecological structure of algaeflora.

Видовое разнообразие естественных природных сообществ является важнейшим параметром для контроля состояния территорий, испытывающих техногенную нагрузку. Наличие в среде посторонних для неё веществ или веществ естественных, но в повышенной концентрации, приводит к преобладающему росту наиболее устойчивых к ним видов и подавлению наиболее чувствительных форм [4]. В частности, длительные антропогенные воздействия приводят к закреплению и стабилизации возникших изменений в составе почвенных микроорганизмов. Водоросли и цианобактерии (ЦБ) являются постоянными компонентами почвенных микробценозов и широко используются в качестве индикаторов состояния почвенной среды. Под влиянием техногенной нагрузки в составе альгофлоры происходят изменения видовой разнообразия, структуры альгогруппировок, состава доминирующих комплексов, соотношения жизненных форм, отражающих экологическую характеристику среды [2–7].

Например, техногенная нагрузка в окрестностях предприятий по производству минеральных удобрений включает загрязнение окружающей среды биофильными элементами, действие которых на живые организмы неоднозначно. Минеральные удобрения влияют на почвенные организмы как непосредственно – за счёт поступления в среду определённых элементов и изменения активной реакции почвенного раствора, так и косвенно, – через усиление роста высших растений, увеличение массы корневых остатков и изменение состава и количества корневых выделений.

Реакция водорослей и ЦБ на минеральные удобрения многообразна в зависимости от плодородия почвы, дозы и формы удобрений. Производственные дозы минеральных удобрений, как правило, не изменяют видовой состав альгофлоры [8], но при этом наблюдается неодинаковая реакция видов микрофототрофов разных систематических групп на вносимые удобрения. Наиболее отзывчивы на удобрения зелёные водоросли (*Chlorella*, *Chlamydomonas*, *Actinochloris*). Высокие дозы азотных удобре-

ний оказывают токсическое действие на ЦБ [9, 10]. Угнетение азотфиксации ЦБ проявляется уже при внесении аммонийного азота в дозе 50 кг/га [11].

Групповой анализ фототрофных микробных сообществ «цветения» почвы предложен как перспективный метод для экспресс-диагностики её состояния [5]. Биологическое благополучие почвы можно установить по наличию полночленности фототрофной микробной ассоциации на её поверхности. Полночленность сообщества микрофототрофов характеризуется наличием всех экоморфологических групп: одноклеточных зелёных и жёлтозелёных водорослей, нитчатых зелёных и жёлтозелёных водорослей, диатомей, безгетероцистных и гетероцистных ЦБ. О надвигающемся биологическом неблагополучии почвы свидетельствует тот факт, что в составе сообщества доминирует какая-то группировка. Исчезновение из наземных сообществ фототрофов азотфиксирующих ЦБ является признаком его нарушения.

Целью исследования являлось изучение реакции почвенных микрофототрофов на загрязнение почв в окрестностях хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка.

Объекты и методы исследования

Исследуемая территория расположена на северо-востоке Европейской части России в подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги. Климат континентальный умеренный, среднегодовая температура составляет +2,4 °С. Территория относится к зоне достаточного увлажнения: среднегодовое количество осадков – 580 мм, 60–70% выпадает в теплое время года. Исследования проводились на пойменном лугу в долине р. Вятки в районе хвостохранилищ химических предприятий г. Кирово-Чепецка, где в качестве дополнительных факторов почвообразования следует рассматривать затопление территории во время весеннего паводка и поступление с полыми водами свежего материала, близкое

залегание грунтовых вод и техногенное воздействие.

Почвы на повышенных участках рассматриваемого луга (на гривах) – аллювиальные дерновые, в межгривных понижениях – аллювиальные перегнойно-глеевые. Длительность и интенсивность паводка влияют на вегетационный период, на характер растительности и процесс разложения растительных остатков, на микрофлору.

Вследствие нарушения герметичности хвостохранилищ загрязняющие вещества просачивались в подземные воды и влияли на качество воды в пойменных озёрах. Высокая минерализация подземных и поверхностных вод в этом районе связана, прежде всего, с накоплением нитрата аммония [12]. Поскольку почвы на пойменных лугах характеризовались низким содержанием азота, было предложено использовать их поглонительную способность в отношении ионов азотной группы для снижения минерализации фильтрующихся вод [13]. По аналогии с внесением жидких азотных удобрений на опытном полигоне с 2011 по 2015 гг. осуществлялись экспериментальные работы по утилизации богатой азотом воды из пойменного озера на почвы грив и межгривных понижений.

На рисунке 1 представлена схема расположения луга относительно водных объек-

тов и участки отбора проб в межгривных понижениях.

Рекомендуемая нами доза полива составляла 400 кг азота на 1 га. Вследствие высокой естественной неоднородности почв в пойме, а также нарушения регламента полива, различия в содержании азота в почвах оказались очень значительными.

Контрольный участок располагался в северо-восточной части луга на аллювиальных дерновых почвах и подвергался воздействию всех указанных выше факторов за исключением дополнительного поступления азота с поливными водами.

В процессе эксперимента проводился отбор почвенных образцов для химического и микробиологического анализа. Смешанные образцы почв отбирали с однородных площадок размером около 5 м² методом конверта. Химические показатели определяли общепринятыми методами: кислотность в водной и солевой вытяжках – потенциметрически [14], нитратный азот – фотометрически [15], аммонийный азот – фотометрически с реактивом Несслера [16].

Почвенные пробы для альгологического анализа отбирали с глубины 0–5 см. Макроскопически заметные поверхностные разрастания водорослей и ЦБ отбирали на участках пойменного луга, отличающихся по положе-

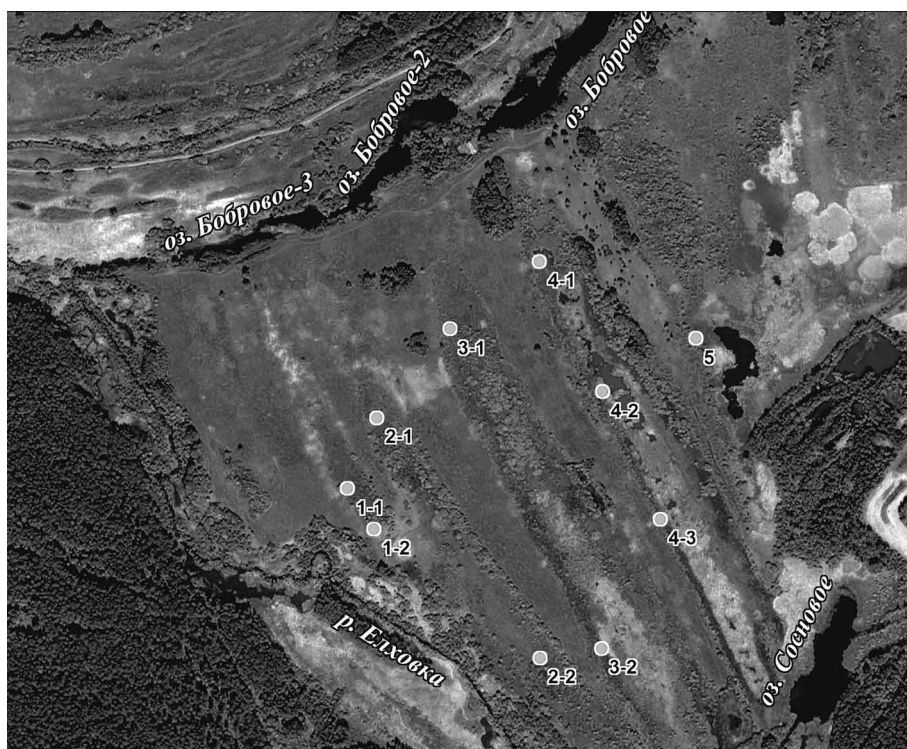


Рис. 1. Участки отбора почвенных образцов в межгривных понижениях на пойменном лугу

нию в рельефе: на склонах и в межгрядных понижениях.

Изучение видового разнообразия проводили методом чашечных культур со стеклами обростания и микроскопированием свежевзятой почвы, экологический анализ альгофлоры – по жизненным формам [2].

Результаты и обсуждение

В почвах на пойменных гривах после половодья восстанавливается промывной режим, характерный для данной природной зоны. Полив опытного полигона богатой NH_4NO_3 водой из озера сопровождался резким увеличением концентрации минерального азота в почве и возрастанием кислотности (табл. 1). За два года после полива концентрация аммонийного и нитратного азота снизилась, однако кислотность осталась на прежнем уровне.

Таким образом, по сравнению с контрольным участком, после внесения высоких доз нитрата аммония дополнительным негативным фактором воздействия на биоту стала повышенная кислотность почв. Реакция фототрофного компонента микробиоты на изменившиеся условия среды приведена в таблице 2. Наибольшее видовое разнообразие и полночленная группировка альгофлоры отмечена на участке без полива (контроль). В течение двух лет количество видов на данном участке было в 2 раза выше по сравнению с экспериментальным участком. По видовому разнообразию в почвах сравниваемых участков преобладали зелёные водоросли, различия касались представителей ЦБ, жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей. Азотфиксирующая ЦБ *Nostoc paludosum* была выявлена только на участке без полива. Число видов безгетероцистных ЦБ на экспериментальном участке было минимальным, при

Таблица 1
Содержание минеральных соединений азота в почвах пойменного луга, мг/кг

Место и время отбора проб		N-NH ₄	N-NO ₃	pH _{соч}
Контрольный участок	2015 г.	14,4±1,4	2,5±0,5	4,8±0,1
Экспериментальный участок (14)	2015 г.	687±60	186±14	3,3±0,1
	2016 г.	495±45	55±4	3,3±0,1

Таблица 2
Количество видов водорослей и ЦБ в почвах контрольного и экспериментального участков пойменного луга

Участки	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta+ Eustigmatophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль 2015 г.	10	10	6	2	28
Контроль 2016 г.	9	10	5	5	29
14 – 2015 г.	1	10	0	3	14
14 – 2016 г.	2	7	0	5	14

Таблица 3
Количество видов водорослей и ЦБ на участках пойменного луга с умеренным и избыточным поливом

Участки	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta+ Eustigmatophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль	9	10	5	5	29
Умеренный полив	3	6	2	6	17
Избыточный полив	0	7	0	1	8

Таблица 4
Количество видов водорослей и ЦБ на участках пойменного луга с плотным растительным покровом

Участки	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta+ Eustigmatophyta	Bacillariophyta	Всего
Контроль	9	10	5	5	29
Умеренный полив – вейниковая ассоциация	0	4	0	0	4
Умеренный полив – пырейная ассоциация	0	4	1	2	7

Таблица 5

Экологическая структура альгофлоры на повышенных участках пойменного луга

Участок	Формула экобиоморф
Контроль	$P_8 H_6 B_5 Ch_5 X_4 CF_2$
Умеренный полив	$Ch_4 B_3 CF_2 C_2 H_2 hydr_2 P_1 X_1$
Избыточный полив (участок 14)	$Ch_3 X_3 C_1 H_1 hydr_1$
Избыточный полив (участок 27)	$Ch_6 H_1 X_1$
Умеренный полив (вейник)	$Ch_3 X_1$
Умеренный полив (пырей)	$Ch_2 B_2 C_2 X_1 H_1$

прямом микроскопировании свежей почвы они не были отмечены, однако развивались в культуре после месяца инкубирования. Представители видов жёлтозелёных и эустигматофитовых водорослей на экспериментальном участке отсутствовали.

Таким образом, на протяжении двух лет количество видов водорослей на участке с избыточным содержанием азота было в 2 раза ниже по сравнению с контролем.

При умеренном поливе, когда содержание аммонийного азота в почвах составляло от 15 до 33 мг/кг, нитратного – от 10 до 27 мг/кг, а кислотность увеличивалась незначительно – на 0,3 ед. рН и составляла 4,5, отмечалось увеличение биомассы высших растений, плотности травостоя, а в ботанической структуре травостоя возрастала доля злаковых видов [17]. На участке луга с умеренным поливом богатой азотом водой видовое разнообразие альгофлоры было ниже, чем на контрольном участке, но выше по сравнению с участками с интенсивным поливом (табл. 3). На участке с избыточным поливом после отмирания высшей растительности на поверхности почвы развивались куртины мха (*Bryum capillare* Hedw.), из водорослей были отмечены: *Chlorococcum infusionum*, *Chlorella vulgaris*, *Ch. minutissima*, *Pseudococcomyxa simplex*, *Coccomyxa dispar*, *Tetracystis aggregate*, *Klebsormidium rivulare*, *Pinnularia borealis*.

В связи с этим второй аспект сравнительной оценки влияния внесения аммонийного и нитратного азота в жидком виде на биоту заключался в анализе роли высшей растительности в развитии почвенной альгофлоры. На участках с мощным покровом злаков низкое разнообразие видов обусловлено высокой конкуренцией водорослей и ЦБ с высшими растениями (табл. 4). Под зарослями вейника (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) были выявлены только зелёные водоросли: *Chlorococcum infusionum*, *Chlorella vulgaris*, *Myrmecia bisecta*, *Pseudococcomyxa simplex*. В пырейной ассоциации (*Agropyron repens* Beauv.) отмечены *Ch. in-*

fusionum, *Chlorella minutissima*, *Ch. vulgaris*, *P. simplex*, *Navicula pelliculosa*, *Hantzschia amphioxys*, *Tribonema aequale*.

Степень влияния комплекса природных и антропогенных факторов среды отражает экологическая структура альгофлоры (табл. 5). В варианте без полива (контроль) преобладают виды P-, H-, B-жизненных форм – безгетероцистные ЦБ, тяготеющие к свободным участкам почвы, нитчатые зелёные и желтозелёные водоросли и диатомовые. При умеренном и избыточном поливе на первое место выходят виды-убииквисты (Ch-). Умеренный полив стимулирует развитие высших растений, при этом ухудшаются условия обитания для водорослей и ЦБ.

Межгрядные понижения пойменного луга было предложено использовать как биоплато, в котором, благодаря высокой поглотительной способности почв, донных отложений, а также наземно-водных растений, происходит снижение концентрации азота в растворах. Вода из обогащённых соединениями азота слоёв озера подавалась на обводнённую часть понижения. Это приводило к временному повышению концентрации азота в воде, в почвах и в донных осадках экспериментальных участков [18].

В таблице 6 представлены сведения о времени полива (поступления азота в понижения), а также результаты определения в почвах нитрат-ионов и ионов аммония. Наиболее высокое содержание минерального азота отмечалось в 4 понижении на участке, где подача воды осуществлялась на обводнённую часть длительное время в два срока. В 1, 2 и 3 понижениях содержание азота в почвах распределено неравномерно, что связано с рельефом, характером растительности, пестротой почв, а также длительностью затопления участка. Наиболее низкие концентрации минерального азота выявлены в 3 понижении, сходные значения характерны для образцов 1-2 и 2-2, которые расположены в непосредственной близости от р. Елховки и подвержены ежегодному затоплению. Максимальное

Таблица 6

Характеристика участков отбора образцов почв

№ понижения	Место отбора образцов	Время полива	Содержание, мг/кг	
			N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻
1	1-1	Не поливалось	42,0±3,8	52,6±3,9
	1-2	Не поливалось	5,0±0,5	19,5±1,5
2	2-1	Не поливалось	5,0±0,5	13,1±1,0
	2-2	Не поливалось	22,5±2,0	29,1±2,2
3	3-1	Не поливалось	5,0±0,5	4,5±0,9
	3-2	Не поливалось	5,0±0,5	3,9±0,8
4	4-1	Полив в 2013 г.	232±21	85±6
	4-2	Полив в 2015 г.	30,1±2,3	22,0±1,7
	4-3	Полив в 2013 и в 2015 г.	469±40	117±9
5	5	Полив 2014 г.	218±20	86±6

Таблица 7

Количество видов микрофототрофов на участках мониторинга (июнь 2016 г.)

Участок	Cyanobacteria	Chlorophyta	Xanthophyta	Bacillariophyta	Euglenophyta	Всего на участке
1-1	1	2	1	5	0	9
1-2	5	1	0	5	0	11
2-1	1	2	1	4	0	8
2-2	1	4	1	5	0	11
3-1	2	1	0	4	0	7
3-2	3	2	0	4	1	10
4-1	1	4	1	4	1	11
4-2	1	3	1	3	0	8
4-3	0	2	0	0	0	2
5	3	3	0	5	0	11
Всего видов	9	10	2	10	2	33

содержание азота на условно «чистых» участках понижений отмечено в образце 1-1 и связано, по-видимому, с поверхностным стоком загрязнённых вод с поливаемого повышенного участка луга, где также проводилась утилизация богатых азотом вод.

В исследуемых образцах почв, отобранных в июне 2016 г., выявлено 33 вида почвенных водорослей и ЦБ, в т. ч. Cyanobacteria – 9 (27,3%), Chlorophyta – 10 (30,3%), Xanthophyta – 2 (6,1%), Bacillariophyta – 10 (30,3%), Euglenophyta – 2 (6,1%) (табл. 7).

Азотное загрязнение отразилось на таксономической структуре сообществ почвенных водорослей и ЦБ – видовое разнообразие микрофототрофов невысокое. Представители основных отделов почвенной альгофлоры отмечены на участках без полива – 1-1, 2-1, 2-2, и на поливаемых участках 4-1, 4-2. Структура альгогруппировок нарушена на участке 4-3, в почве которого были выявлены 2 вида зелёных водорослей (*C. infusionum*, *Chlamydomonas*

gloeogama) и не отмечены представители других отделов. В почвах исследуемых участков ЦБ представлены безгетероцистными видами: *Leptolyngbya angustissima*, *L. foveolarum*, *L. frigidum*, *L. fragile*, *Pseudanabaena catenata*, *Plectonema boryanum*, *Phormidium corium*, *Oscillatoria animalis*. Гетероцистная ЦБ *Nostoc paludosum* выявлена только на участке 3-2. Отмечены представители зелёных водорослей: *Chlamydomonas gloeogama*, *Ch. gelatinosa*, *Ch. infusionum*, *Closterium* sp., *Cosmarium anceps*, *Chlorella vulgaris*, *Klebsormidium flaccidum*, *K. rivulare*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scotiellopsis levicostata*. Одноклеточные жёлтозелёные водоросли, чувствительные к загрязнению, не выявлены. На пяти участках отмечена нитчатая жёлтозелёная водоросль – *Tribonema minus*. Высокая влажность почв в межгрядных понижениях способствовала интенсивному развитию диатомовых водорослей: *Nitzschia palea*, *Navicula pelliculosa*, *Pinnularia viridis*, *Gyrosigma acuminatum* и др. На участках 3-2

Видовой состав альгофлоры пойменных понижений

Отдел, вид	№ понижения									
	1		2		3		4		5	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2
Cyanobacteria										
<i>Leptolyngbya angustissima</i> (W. et G. S. West) Anagn. et Kom.	+	+								
<i>L. foveolarum</i> (Ramben. ex Gom.) Anagn. et Kom.	+	+								
<i>L. frigida</i> (Fritsch) Anagn. et Kom.	+	+			+				+	
<i>L. fragilis</i> (Gom.) Anagn. et Kom.	+								+	
<i>Nostoc paludosum</i> (Kütz.) Hariot					+					
<i>Oscillatoria animalis</i> Ag. ex Gom.					+					
<i>Oscillatoria</i> sp.					+					
<i>Phormidium autumnale</i> (Ag.) Gom.		+								
<i>Ph. aerugineo-coeruleum</i> (Gom.) Anagn. et Kom.		+								
<i>Ph. boryanum</i> Kütz.		+	+							
<i>Ph. formosum</i> (Bory ex Gom.) Anagn. et Kom.		+								
<i>Ph. uncinatum</i> (Ag.) Gom.		+								
<i>Ph. jadinianum</i> Gom.		+								
<i>Ph. corium</i> (Ag.) Gom.		+					+			
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterbom					+				+	
Chlorophyta										
<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova		+								
<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. in Pascher var <i>gloeogama</i>	+	+				+		+		
<i>Chl. gelatinosa</i> Korsch. in Pascher	+									
<i>Chl. oblongella</i> Lund								+		
<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer var <i>vulgaris</i>		+	+		+		+	+		
<i>Ch. minutissima</i> Fott et Novakova								+		+
<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Menegh.	+	+		+			+	+	+	+
<i>Coccomyxa dispar</i> Schmidle						+				
<i>Closterium pusillum</i> Hantzsch in Rabenhorst				+						
<i>Closterium</i> sp.								+		
<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) Silva et al			+		+			+		+
<i>Klebsormidium nitens</i> (Menegh. in Kütz.) Lokhorst		+								
<i>Klebsormidium rivulare</i> (Kütz.) comb. nova		+	+							
<i>Lobomonas rostrata</i> Hazen									+	
<i>Macrochloris dissecta</i> Korsch.		+						+		
<i>Mesotaenium macrococcum</i> (Kütz.) Roy et Bissett		+				+				
<i>Microthamnion kuetzingianum</i> Nageli		+								
<i>Planktosphaeria maxima</i> Bischoff et Bold		+						+		
<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott						+		+		
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brebisson sensu Chodat					+					
<i>Scotiellopsis levicostata</i> (Holler.) Puncocharova et Kalina		+						+		
<i>Stichococcus minor</i> Nageli								+		+
Bacillariophyta										
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenhorst						+		+	+	+
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr) Grun. in Cleve et Grun				+	+					+
<i>Luticola mutica</i> (Kütz.) Mann in Round et al.				+		+				
<i>Navicula atomus</i> (Kütz.) Grunow										+
<i>N. pelliculosa</i> (Breb.) Hilse		+	+			+	+	+	+	
<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith	+	+	+	+	+	+		+	+	+

Отдел, вид	№ понижения									
	1		2		3		4		5	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Pinnularia viridis</i> Ehr.		+		+		+		+		+
<i>P. borealis</i> Ehr.				+						
<i>P. intermedia</i> Lagerst.				+		+		+		+
<i>P. mesolepta</i> Ehr.								+		+
<i>P. subcapitata</i> Gregory						+				
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.										+
Ochrophyta										
<i>Bumilleria klebsiana</i> Pasch.								+		
<i>Pleurochloris lobata</i> Pasch.		+								
<i>Pleurochloris pyrenoidosa</i> Pasch.	+									
<i>Tribonema aequale</i> Pasch.				+						
<i>Tribonema minus</i> (Klebs) Hazen	+		+			+	+	+		+
<i>Xanthonema exile</i> (Klebs) Silva		+			+					
<i>X. bristoliana</i> (Pasch.) Silva			+							
Euglenophyta										
<i>Euglena mutabilis</i> Schmitz								+	+	
<i>Phacus</i> sp.					+			+		
Всего:	10	26	9	8	9	13	6	21	8	13

Примечание: 1* – пробы, отобраны в июне 2016 г., 2** – пробы отобраны в августе 2016 г.

и 4-1 развивались представители эвгленовых водорослей – *Euglena mutabilis*, *Phacus* sp. На условно «чистых» участках 1-2 и 2-2, а также на участке, где полив производился только в течение одного сезона (4-1), в структуре альгогруппировок присутствуют представители всех основных отделов почвенных водорослей и ЦБ, хотя их видовое разнообразие невелико.

Почвенные пробы отбирались не только в июне, но и в августе 2016 г. Во время высокого весеннего паводка луг был полностью затоплен, и в июне вода ещё стояла в наиболее глубоких частях понижений. В августе участки пробоотбора были относительно сухими. В почвах пойменных понижений луга отмечена более богатая альгофлора. Выявлено 48 видов почвенных водорослей и ЦБ, в т. ч. Cyanobacteria – 10 (20,8%), Chlorophyta – 18 (37,5%), Xanthophyta – 6 (12,5%), Bacillariophyta – 12 (25%), Euglenophyta – 2 (4,2%) [18].

В целом, в почвах понижений было выявлено 58 видов почвенных водорослей и ЦБ, в т. ч. Cyanobacteria – 15 (25,9%), Chlorophyta – 22 (37,9%), Xanthophyta – 7 (12,1%), Bacillariophyta – 12 (20,7%), Euglenophyta – 2 (3,4%), причём в июньских пробах отмечено 33 вида фототрофов, в августе – 48.

Альгофлора понижений по видовому разнообразию значительно различалась. За ис-

ключением 2-го понижения в июньских пробах видовое разнообразие было существенно ниже, особенно в 1 и 4 понижениях. По числу видов преобладали зелёные водоросли, доминирующие в почвах лесной зоны. Согласно литературным данным [19], зелёные водоросли отзывчивы на азотные удобрения и способны переносить значительные их концентрации. В почвах понижений большую роль играют диатомовые водоросли: они отмечены во всех пробах. В понижениях их видовое разнообразие выше, чем на гривах [18], они интенсивно развиваются в чашечных культурах. Среди диатомей отмечены гидрофильные виды: *Pinnularia viridis*, *P. mesolepta*, *Gyrosigma acuminatum*, *Tabellaria fenestrata*. Доминантами сообществ являлись: *Pinnularia subcapitata*, *P. viridis*, *Navicula pelliculosa*, *Nitzschia palea*. Наибольшее количество видов ЦБ отмечено в июньских пробах почв из 1-го и 3-го понижений, в пробах, отобранных в августе, ЦБ были выявлены только в 1-м понижении, причём количество видов увеличилось с 4 до 10 (табл. 8).

Альгосинузии пойменных почв формируются под действием мощного экологического фактора – паводка, который не только обуславливает повышение влажности, но и вносит в почву многие виды водных водорослей [20]. Эвгленовые водоросли отмечены в пробах из 3-го и 4-го понижений. В почвах 4-го пони-

жения, наиболее насыщенных минеральными соединениями азота, наблюдали интенсивное развитие водоросли *Euglena mutabilis*. Имеются данные о способности эвглен выдерживать высокие концентрации азота [21].

Экологическая структура альгофлоры почв понижений отражает степень влияния факторов: избыточного увлажнения и высокой концентрации азота (табл. 9).

В экологической структуре альгофлоры почв понижений на первое место выходит В-форма, представленная диатомовыми водорослями, требовательными к увлажнению и, кроме того, устойчивыми к высокой концентрации солей. Сh-форма, включающая виды, отличающиеся исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям, особенно характерна для почв 1-го и 4-го понижений. В целом, следует отметить невысокое видовое разнообразие микрофототрофов, отсутствие азотфиксирующих ЦБ на участках с высоким содержанием азота, изменение экологической структуры альгосинузий в зависимости от факторов среды.

Во время паводка влияние поверхностных водных объектов: р. Елховки и оз. Бобровое-2 на 1-е и 4-е понижение, соответственно, более существенно, чем на остальные относительно изолированные понижения. Можно предположить, что рост видового разнообразия в августе связан с приносом водных видов во время паводка. Следовательно, в оценке воздействия на альгофлору фактор паводка можно рассматривать как приоритетный по сравнению с избыточным содержанием азота в субстрате.

В условиях разреженного растительного покрова как на пойменных гривах, так и в понижениях отмечается интенсивное размножение водорослей и ЦБ на поверхности почвы, так называемое «цветение» почв, которое свидетельствует об активной жизнедеятельности видов в благоприятных условиях среды. Размножение микрофототрофов на поверхности почвы зависит от многих факторов: типа почвы, влажности, света, наличия питательных веществ, отсутствия конкуренции с высшими растениями и др. В естественных условиях для «цветения» почвы характерна сезонная смена группировок. Видовой состав альгофлоры при «цветении» используется в биоиндикационной оценке состояния почв. В поверхностных разрастаниях луговых участков выявлено 23 вида почвенных водорослей и ЦБ (табл. 10).

На участке 19 с наиболее низкими концентрациями азота в почвах структура поверхностных разрастаний включает представителей всех основных отделов почвенных водорослей. В составе группировок преобладают зелёные водоросли (13 видов), диатомовые (3 вида), встречаются жёлтозелёные (*Botrydiosis eriensis*) и ЦБ (*Leptolyngbya foveolarum*, *Phormidium boryanum*). В почвах межгривного понижения видовое разнообразие в плёнке цветения представлено 8 видами, в том числе 5 видов – зелёные водоросли, по одному виду из отделов жёлтозелёных и диатомовых водорослей. В структуре сообщества отсутствуют ЦБ. На лугу с высокими концентрациями азота в почвах (участок 27) структура альгосообщества нарушена. Отмечены представите-

Таблица 9

Экологическая структура альгофлоры почв понижений

№ понижения	Характеристика понижений	Формулы экибиоморф
1	Небольшое по площади плоское понижение, ежегодно затопляемое со стороны р. Елховки, не поливалось.	$P_{11} Ch_6 H_5 B_3 X_3 C_2 hydr_2 amph_1$
2	Обширное понижение, затопление которого начинается с юга со стороны р. Елховка, не поливалось, поверхностный сток с поливаемых участков грив.	$B_6 H_5 Ch_2 hydr_2 P_1$
3	Обширное, неглубокое понижение, связанное в паводок с оз. Бобровым-2, не поливалось.	$B_6 hydr_4 H_3 P_2 X_2 CF_1 C_1 Ch_1 amph_1$
4	Глубокое и наиболее обводнённое понижение, связанное во время паводков с оз. Бобровое 1 и оз. Сосновое, поливалось.	$B_5 Ch_5 H_4 X_4 hydr_4 C_2 P_1 amph_1$
5	Обширное, заросшее кустарником понижение, обводнённое, но относительно изолированное от озёр, поливалось.	$B_6 hydr_4 H_3 Ch_3 C_2 X_2 P_1$

Таблица 10

Видовой состав поверхностных разрастаний водорослей и цианобактерий луговых фитоценозов

№ п/п	Название видов	Участки мониторинга		
		19 С-В склон гряды, умеренный полив	Межгрядное понижение	27 Ю-З склон гряды, избыточный полив
Cyanobacteria				
1	<i>Leptolyngbya foveolarum</i> (Rabenh. et Gom.) Anagn. et Kom.	+		
2	<i>Phormidium boryanum</i> Kütz.	+		+
Chlorophyta				
3	<i>Bracteacoccus minor</i> (Chodat) Petrova	+		
4	<i>Chlamydomonas gloeogama</i> Korsch. in Pasch. var. <i>gloeogama</i>	+	+	+
5	<i>Chlorella minutissima</i> Fott et Novakova			+
6	<i>Chlorella vulgaris</i> Beijer.	+		+
7	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Menegh.	+	+	+
8	<i>Chloroplana terricola</i> Hollerb.	+		
9	<i>Closterium pusillum</i> Hantzsch in Raben.	+		
10	<i>Cosmarium anceps</i> Lund.	+		
11	<i>Cosmarium cucumis</i> (Corda) Ralfs	+		
12	<i>Gongosira debaryana</i> Rabenh.	+		
13	<i>Klebsormidium flaccidum</i> (Kütz.) Silva et al.	+	+	+
14	<i>Klebsormidium rivulare</i> (Kütz.), comb. nova	+	+	+
15	<i>Macrochloris dissecta</i> Korsch.			+
16	<i>Pseudococcomyxa simplex</i> (Mainx) Fott	+		
17	<i>Stichococcus minor</i> Näg.	+	+	+
Xanthophyta				
18	<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi		+	
19	<i>Botrydiopsis eriensis</i> Snow	+		
Bacillariophyta				
20	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grun. in Cleve et Grun.	+		
21	<i>Nitzschia palea</i> (Kütz.) W. Smith		+	
22	<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	+		
Euglenophyta				
23	<i>Euglena mutabilis</i> Schmitz		+	
Всего:		18	8	9

ли только зелёных водорослей. Виды, встречающиеся в поверхностных разрастаниях на всех сравниваемых участках: *Chlamydomonas gloeogama*, *Chlorococcum infusionum*, *Klebsormidium flaccidum*, *Klebsormidium rivulare*, *Stichococcus minor*. Данные виды входят в состав доминантов плёнок «цветения» изучаемых сообществ. Отсутствие в поверхностных разрастаниях азотфиксирующих и слабое развитие безгетероцистных ЦБ, преобладание зелёных водорослей указывает на избыточное содержание азота в почвах исследуемой территории.

Выводы

1. Под влиянием техногенной нагрузки происходит уменьшение видового разнообразия микроорганизмов. Избыточное поступление нитрата аммония в почву, сопровождающееся повышением кислотности, привело к снижению видового разнообразия альгофлоры по сравнению с контролем примерно в 2 раза. При этом произошла перестройка структуры фототрофного блока микроорганизмов. Из состава альгогруппировок исчезли азотфиксирующие ЦБ, одноклеточ-

ные жёлтозелёные и эустигматофитовые водоросли.

2. Умеренный полив богатой азотом водой, с одной стороны, сопровождался удобрительным эффектом – увеличением массы и плотности травостоя, с другой, вследствие повышения кислотности почв, в его составе возрастала доля злаковых трав. На участках с мощным покровом злаков малое разнообразие видов микрофототрофов было обусловлено их слабой конкурентоспособностью за свет, воду, элементы питания с высшими растениями.

3. Экологическая структура альгофлоры почв повышенных участков пойменного луга с высоким содержанием азота характеризуется преобладанием видов-убииквистов, а в понижениях – гидрофильных видов.

4. В почвах затапливаемых в паводок понижений пойменного луга в июне видовой состав был представлен 33 видами водорослей, в августе (при подсыхании понижений) – 48 видами. В оценке воздействия на альгофлору фактор паводка можно рассматривать как приоритетный по сравнению с избыточным содержанием азота в почве.

5. Избыточное содержание азота явилось причиной отсутствия в почвах азотфиксирующих ЦБ, и закономерного преобладания зелёных водорослей.

Литература

1. Гапочка Л.Д. Об адаптации водорослей. М.: Изд-во МГУ, 1981. 79 с.
2. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
3. Штина Э.А. Почвенные водоросли как экологические индикаторы // Ботанический журнал. 1990. Т. 75. № 4. С. 441–453.
4. Кабиров Р.Р. Альготестирование и альгоиндикация. Уфа: БГПИ, 1995. 125 с.
5. Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития. Сыктывкар, 2005. 336 с.
6. Новаковская И.В., Патова Е.Н. Почвенные водоросли еловых лесов и их изменения в условиях аэротехногенного загрязнения. Сыктывкар, 2011. 128 с.
7. Кондакова Л.В. Альго-цианобактериальная флора и особенности её развития в антропогенно нарушенных почвах (на примере почв южной тайги Европейской части России): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2012. 34 с.
8. Некрасова К.А. Опыт изучения почвенных водорослей как индикаторов обеспеченности почвы элементами минерального питания растений: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ленинград, 1971. 26 с.
9. Третьякова А.Н. Альгологическая оценка использования минеральных удобрений // Актуальные про-

блемы современной альгологии. Киев: Наукова думка, 1987. С. 176–177.

10. Балезина Л.С. Влияние удобрений и гербицидов на развитие почвенных водорослей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Горький, 1970. 22 с.

11. Мишустин Е.Н., Калининская Т.А., Петрова А.Н. Влияние связанных форм азота на азотфиксирующую активность синезелёных водорослей // Развитие и значение водорослей в почвах Нечернозёмной зоны: Материалы межвузовской конференции. Киров, 1977. С. 110–111.

12. Ашихмина Т.Я., Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Лемешко А.П., Скугорева С.Г., Адамович Т.А. Изучение состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 18–26.

13. Дабах Е.В., Кантор Г.Я., Кислицына А.П. Биологическая очистка поверхностных вод, загрязнённых нитратом аммония // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 3. С. 19–22.

14. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.

15. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО. М., 1985. 4 с.

16. ГОСТ 26489-85. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО.

17. Кислицына А.П., Дабах Е.В., Домнина Е.А. Мониторинг состояния опытного полигона утилизации загрязнённых азотом вод // Актуальные вопросы аграрной науки: теория и практика: Матер. Всерос. научн.-практ. конф., посвященной 70-летию агрономического факультета. Киров: Вятская ГСХА, 2014. С. 83–85.

18. Кондакова Л.В., Дабах Е.В. Альгофлора почв понижений пойменного луга // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XII всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 250–252.

19. Третьякова А.Н., Балезина Л.С. О действии минеральных удобрений и извести на микробное состояние дерново-подзолистой почвы // Повышение эффективности применения удобрений в хозяйствах Уральской зоны. Пермь, 1983. С. 43–49.

20. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 148 с.

21. Штина Э.А., Антипина Г.С., Козловская Л.С. Альгофлора болот Карелии и её динамика. Л.: Наука, 1981. 269 с.

References

1. Gapochka L.D. On adaptation of algae. Moskva: Izd-vo MGU, 1981. 79 p. (in Russian).
2. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Ecology of soil algae. Moskva: Nauka, 1976. 144 p. (in Russian).
3. Shtina E.A. Soil algae as ecological indicators // Botanicheskiy zhurnal. 1990. V. 75. No. 4. P. 441–453 (in Russian).

4. Kabirov R.R. Algotesting and algoindication. Ufa: BGPI, 1995. 125 p. (in Russian).
5. Domracheva L.I. "Flowering" of the soil and the laws of its development. Syktyvkar, 2005. 336 p. (in Russian).
6. Novakovskaya I.V., Patova E.N. Soil algae of spruce forests and their changes in conditions of aerotechnogenic pollution. Syktyvkar, 2011. 128 p. (in Russian).
7. Kondakova L.V. Algo-cyanobacterial flora and its development in anthropogenically disturbed soils (by the example of soils of southern taiga of the European part of Russia): Avtoref. ... d-ra biol. nauk. Syktyvkar, 2012. 34 p. (in Russian).
8. Nekrasova K.A. Experience in studying soil algae as indicators of soil availability with elements of mineral nutrition of plants: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Leningrad, 1971. 26 p. (in Russian).
9. Tretyakova A.N. Algological assessment of the use of mineral fertilizers // Actual problems of modern algology. Kiev: Naukova dumka, 1987. P. 176–177 (in Russian).
10. Balezina L.S. Effect of fertilizers and herbicides on the development of soil algae: Avtoref. ... kand. biol. nauk. Gorkiy, 1970. 22 p. (in Russian).
11. Mishustin E.N., Kalininskaya T.A., Petrova A.N. Influence of bound nitrogen forms on nitrogen-fixing activity of blue-green algae // Development and importance of algae in soils of Non-chernozem zone: Materialy mezhvuzovskoy konferentsii. Kirov, 1977. P. 110–111 (in Russian).
12. Ashikhmina T.Ya., Dabakh E.V., Kantor G.Ya., Lemeshko A.P., Skugoreva S.G., Adamovich T.A. The study of the state of the natural complex in the zone of influence of the Kirovo-Chepetsk chemical plant // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2010. No. 3. P. 18–26 (in Russian).
13. Dabakh E.V., Kantor G.Ya., Kislitsyna A.P. Biological treatment of surface waters contaminated with ammonium nitrate // Vestnik IB Komi NTs UrO RAN. 2012. No. 3. P. 19–22 (in Russian).
14. Arinushkina E.V. Guidelines for the chemical analysis of soils. Moskva: MGU, 1970. 488 p. (in Russian).
15. GOST 26488-85. Soil. Determination of nitrates by the method of CINAO. Moskva, 1985. 4 p. (in Russian).
16. GOST 26489-85. Soil. Determination of exchangeable ammonium by the method of CINAO (in Russian).
17. Kislitsyna A.P., Dabakh E.V., Domnina E.A. Monitoring of the state of the experimental site of utilization of water contaminated with nitrogen // Actual problems of agrarian science: theory and practice: mater. vseros. nauchn.-prakt. konf., posvyashchennoy 70-letiyu agronomicheskogo fakulteta. Kirov: Vyatskaya GSKhA, 2014. P. 83–85 (in Russian).
18. Kondakova L.V., Dabakh E.V. Algoflora of soils of low places of floodplain meadow // Ecology of the native land: problems and ways of their solution: Materialy XII vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Kniga 2. Kirov: VyatGU, 2017. P. 250–252 (in Russian).
19. Tretyakova A.N., Balezina L.S. On the effect of mineral fertilizers and lime on the microbial state of sod-podzolic soil // Increase the efficiency of fertilizer application in the farms of the Urals zone. Perm, 1983. P. 43–49 (in Russian).
20. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. Soil algae of forest biogeocenoses. Moskva: Nauka, 1984. 148 p. (in Russian).
21. Shtina E.A., Antipina G.S., Kozlovskaya L.S. Algoflora of Karelian bogs and its dynamics. Leningrad: Nauka, 1981. 269 p. (in Russian).