

УДК 582.2/3:581.5:58.02 (571.53)

## ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРОСЛИ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ Г. УСОЛЬЕ-СИБИРСКОЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

И. Н. Егорова, Г. С. Тупикова, О. В. Шергина

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН  
ул. Лермонтова, 132, Иркутск, 664033 Российская Федерация*

E-mail: egorova@sifibr.irk.ru, galina93shambueva@mail.ru, sherolga80@mail.ru

*Поступила в редакцию 31.05.2022 г.*

В статье впервые приведены данные о составе и структуре группировок водорослей в серых лесных почвах г. Усолье-Сибирское и его окрестностей, подверженных техногенному загрязнению. Изучены образцы из 19 пунктов, преимущественно лесных насаждений, расположенных на территории города (12 пунктов) и его окрестностей (7 пунктов). При помощи культурозависимых методов зарегистрировано 77 видов из пяти отделов: цианопрокариот (Cyanoprokaryota) – 22 % от общего числа видов, диатомовых водорослей (Bacillariophyta) – 5 %, желтозеленых (Ochromytha) – 9 %, зеленых (Chlorophyta) – 61 %, харофитовых водорослей (Charophyta) – 3 %. Наибольшим числом видов представлены зеленые водоросли, что характерно для лесных почв. Разнообразие видов цианопрокариот отмечено в почвах города, которым свойственна меньшая кислотность, повышенное содержание обменных кальция, натрия, серы, более низкое по сравнению с фоном содержание общего азота. В исследованных лесных насаждениях на территории города разнообразие группировок водорослей было выше (среднее число видов 11.7), чем в его окрестностях (в среднем 9.9 видов). Состав и структура альгогруппировок лесных почв г. Усолья-Сибирского свидетельствует о сохранении ими общих черт, свойственных таковым почв естественных биогеоценозов. По числу видов, распределению видов в отделах почвенный альгокомплекс лесных насаждений г. Усолья-Сибирского и его окрестностей сходен с таковыми других промышленных центров Иркутской области: городов Саянск, Шелехов, Иркутск.

**Ключевые слова:** альгогруппировки, серые лесные почвы, биоразнообразие, техногенное загрязнение.

DOI: 10.15372/SJFS20220607

### ВВЕДЕНИЕ

Город Усолье-Сибирское основан в середине XVII в. вблизи месторождения соли. Первые поселенцы использовали хлоридные натриевые солевые воды и рассолы для добычи пищевой соли (Шаманский, 1994). В 30-е гг. XIX в. арендаторы солевого промысла стали использовать рассол Усольского источника для лечебных целей. Здесь был основан старейший в Иркутской области курорт, функционирующий и поныне (Ломоносов и др., 1977). В 30-е гг. XX в. в Усолье-Сибирском развивается промышленное производство преимущественно на основе хлора. К концу XX в. его вклад в промышленную продукцию области достиг 10 %. В XXI в. город

во многом утратил свое промышленное значение, тем не менее промышленная деятельность продолжается и связана с добычей соли, производством машинного оборудования, деревообработкой, производством пищевой, фармацевтической, химической продукции. Развитие промышленного комплекса и концентрация крупных предприятий на относительно небольшой территории города и его окрестностей привели к загрязнению атмосферного воздуха, почв и водоемов специфическими веществами первого и второго класса опасности, в том числе ртути (Седых, Зарипов, 2002). Анализ санитарно-микробиологического состояния почв города показал, что доля сильно и умеренно загрязненных почв составляет около 70 % (Напрасникова, 2019).

Важной составляющей почвенной биоты являются водоросли, играющие большую роль в создании первичной продукции, циклах биогенных элементов, минерализации, водоудержания, стабилизации почвы и служащие индикаторами условий окружающей среды (Голлербах, Штина, 1969). Изучению водорослей, обитающих в естественных лесных почвах и почвах урбанизированных территорий России, посвящено значительное число работ (Андросова, 1964; Алексахина, Штина, 1984; Суханова и др., 2000; Sukhanova et al., 2000; Филонова, 2001; Артамонова, 2002; Аксенова, Баранова, 2010; Хайбуллина и др., 2011; Трухницкая, 2012; Назаренко, 2013; Дорохова и др., 2015; Кондакова и др., 2016; и др.). Исследования водорослей почв урбанизированных территорий Прибайкалья до настоящего времени единичны и преимущественно связаны с изысканиями Е. А. Судаковой в крупных промышленных центрах – Иркутске, Шелехове и Саянске (Егорова, Максимова, 2018). Наиболее полно их результаты опубликованы только в Иркутске (Судакова, 2000; Лопатовская, Максимова, 2010). Для Усолья-Сибирского и его окрестностей имеются отдельные сведения о водорослях-макрофитах, обитающих на переувлажненных грунтах вблизи водоемов (Вишняков, 2019). До настоящего времени почвенные водоросли не были в фокусе внимания исследователей.

Цель нашей работы заключалась в изучении разнообразия и структуры группировок водорослей почв лесных и травянистых насаждений г. Усолья-Сибирского и его окрестностей на территориях с разным уровнем техногенного загрязнения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования расположена в Иркутской области в пределах Иркутско-Черемховской равнинной впадины, недалеко от слияния рек Белая и Ангара. Впадина вытянута вдоль северо-восточного подножия Восточного Саяна, заполнена преимущественно обломочными отложениями юрского возраста, перекрытых сверху чехлом песчаных четвертичных отложений. Здесь проходит область залегания пластов кембрийской каменной соли, с которыми генетически связаны изливающиеся на поверхность соленые воды и рассолы (Ломоносов и др., 1977). Рельеф выровненный, полого-увалистый, слегка холмистый. Абсолютные высоты изменяются от 400 до 500 м над ур. м. Климат резко

континентальный, с большими амплитудами суточных температур. Среднегодовая температура отрицательная – от  $-1.3$  до  $-2.4$  °С. Среднее годовое количество осадков – до 400–500 мм, большая их часть выпадает во второй половине лета. Территории свойственна неравномерность выпадения осадков по годам. Снежный покров незначителен, до 30–40 см (Картушин, 1969). В почвенном покрове преобладают серые лесные, дерново-подзолистые и дерново-лесные почвы (Почвенная карта..., 1988). Распространены подтаежные сосновые и лиственнично-сосновые, осиново-березовые и березово-осиновые травяные леса с участками луговых степей. Им сопутствуют болотные, долинно-луговые сообщества. Подтаежные геосистемы значительно изменены в результате деятельности человека (Коновалова, Наговицина, 2018).

Нами изучены образцы лесной почвы, техногенного грунта и корочек водорослей, собранные в 19 пунктах на территории муниципального образования (МО) г. Усолье-Сибирское и Усольского района. Отбор почвенных проб проведен преимущественно одним из авторов статьи, почвоведом О. В. Шергиной в июне–июле 2010 г. Пункты для отбора проб выбраны с учетом загрязнения и угнетения почв и растительности аэропромвыбросами производственного объединения «Усольехимпром». На территории МО взяты образцы почвы в городских лесах и лесопарках, образцы грунта техногенного отвала, корочек водорослей в отстойниках Химпрома и лесных насаждениях (всего в 12 пунктах). Еще в 7 пунктах Усольского района изучены водоросли почв лесных фитоценозов. Почвы обследованы методом почвенных разрезов. Состав водорослей изучали по объединенной пробе почвы органо-аккумулятивного горизонта (0–20 см) разреза, так как в поверхностных слоях сосредоточено наибольшее разнообразие микрофототрофов. Пробоподготовку почв и грунта для альгологических изысканий осуществляли в лаборатории принятыми в почвенной фикологии методами (Штина, 1981; Algal..., 2005).

Идентификация водорослей проводилась в лабораторных условиях культурозависимыми и культуронезависимыми методами. При помощи последних изучены водорослевые корочки (прямым микроскопированием в световой микроскоп). Подавляющее большинство видов охарактеризованы на основе культивируемого материала. Преимущество используемых методов заключается в том, что исследователь имеет дело с видами как физическими организмами.

Это позволяет отслеживать их жизненные циклы, изучать различные аспекты физиологии и биохимии водорослей, осуществлять долговременные и разнонаправленные изыскания, в том числе молекулярно-генетические. Условия выращивания культур, используемые среды, методы изоляции и идентификации водорослей описаны многими исследователями (Stanier et al., 1971; Starr, Zeikus, 1993; Андреева, 1998; Костиков и др., 2001; Algal..., 2005; Егорова, 2011; Егорова и др., 2019). В ходе изысканий некоторые выделенные из почв штаммы были депонированы в коллекцию культур водорослей СИФИБР СО РАН – ИРК–А и доступны для наблюдений. Название типа почв дано в соответствии с общепринятой классификацией и Единым государственным реестром почвенных ресурсов России (Классификация..., 2004; Единый госреестр..., 2014). Принятая система отделов и порядок расположения видов в списке такие же, как в предыдущих работах (Егорова и др., 2020).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показаны район работ и ландшафты территории исследований.

В растительных сообществах были изучены образцы техногенного грунта (1), серой лесной почвы (16), водорослевых корок (2) (табл. 1). Почвы серые лесные со слабокислой реакцией среды, в черте города с тенденцией к подщелачиванию. В большинстве обследованных пунк-

тов на территории МО гумусовые горизонты почв значительно трансформированы, характеризуются пылеватым и пылегато-комковатым агрегатным составом, увеличением плотности сложения на 25–60 %, снижением влажности на 30–60 %, пористости на 30–45 %, аэрации на 35–55 %. Наблюдаются признаки техногенного солонцевания и оглеения почв. В городских почвах в сравнении с фоновыми повышено содержание обменных кальция, натрия, а также серы. Концентрация обменного калия, общего азота значительно ниже, чем в почвах фоновых территорий. Превалирует сульфатно-кальциевый тип загрязнения (Шергина и др., 2018).

Всего выявлено 77 видов водорослей из пяти отделов (табл. 2): цианопрокариоты (Cyanoprokaryota) – 17 (22 % от общего числа видов), диатомовые водоросли (Bacillariophyta) – 4 (5 %), желтозеленые водоросли (Ochromytha) – 7 (9 %), зеленые водоросли (Chlorophyta) – 47 (61 %), Charophyta – 2 вида (3 %). Зарегистрированы виды 45 родов. Среднее число видов в роде 1.7. Разнообразие 19 родов выше среднего, они включают 2 и более вида. По числу представителей выделяются роды хламидомонас (*Chlamydomonas* Ehrenb.) с 6 видами, носток (*Nostoc* Vaucher ex Bornet and Flahault), хлоросарцинопсис (*Chlorosarcinopsis* Herndon), плевраструм (*Pleurastrum* Chodat) – включают по 4 представителя, хлорококкум (*Chlorococcum* Menegh.), целастрелла (*Coelastrella* Chodat) – по 3.

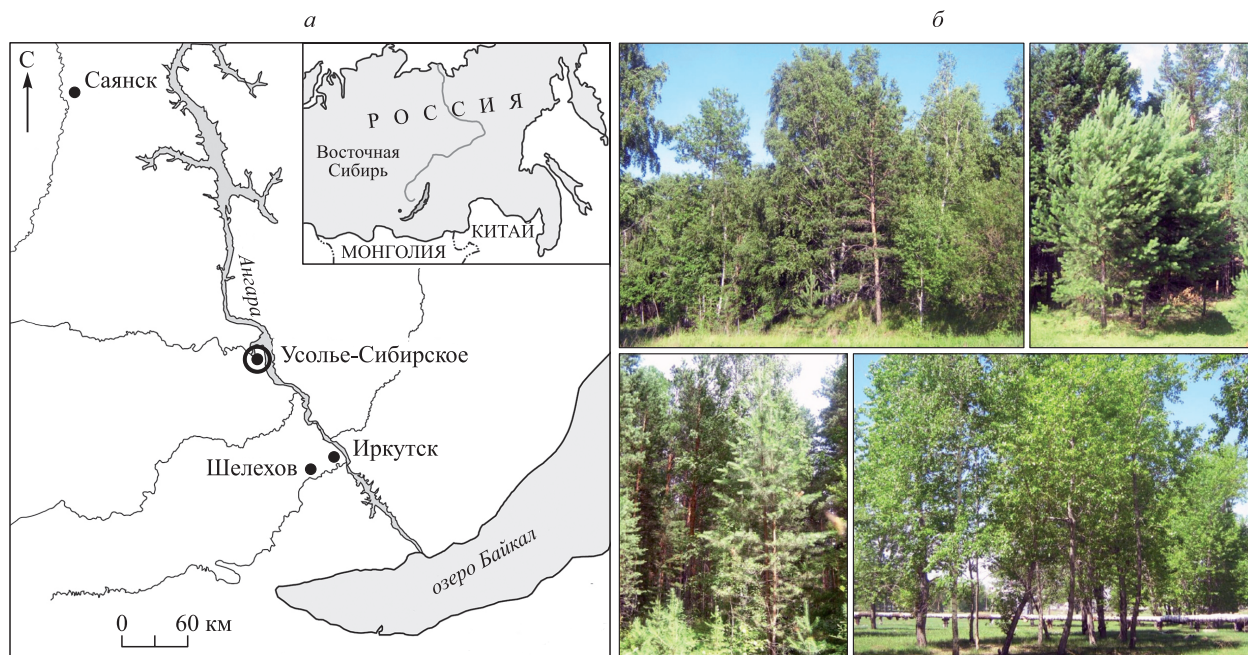


Рис. 1. Район работ (а) (обозначен кружком) и растительные сообщества территории исследований (б).

Таблица 1. Краткая характеристика пунктов исследований

№ пп	Пункты сбора	Растительность	Образец	Высота (м н. у. м.) / координаты	pH <sub>водн</sub> почв
<b>Иркутская область. МО г. Усолье-Сибирское</b>					
1	Промышленная площадка Усольехимпрома	Березово-тополевый с сосной злаково-разнотравный лес	Серая лесная почва	424 / N 52°46'41", E 103°37'57"	6.55 ± 0.15
2	ТЭЦ 11 в районе промплощадки	Березняк с сосной разнотравный	То же	460 / N 52°46'41", E 103°37'57"	6.85 ± 0.20
3	Отстойники Усольехимпрома	Злаковая ассоциация	Корочки водорослей на песчаной почве	400 / N 52°48'95", E 103°39'20"	7.15 ± 0.25
4	Окраина промзоны вблизи сворота на пгт. Белореченский	Сосняк с березой низкотравный	Серая лесная почва	452 / N 52°48'43", E 103°34'93"	6.80 ± 0.15
5	Техногенный отвал ТЭЦ 11	Сосново-березовые насаждения с кустарниками	Эмбриоземы	471 / N 52°46'47", E 103°35'36"	8.95 ± 0.30
6	Там же, рядом	Заросли кустарников	Корочки водорослей на серой лесной почве	470 / N 52°46'39", E 103°35'42"	7.90 ± 0.15
7	Кинотеатр «Родина»	Топольник с березой разнотравный	Серая лесная почва	421 / N 52°45'30", E 103°39'35"	7.60 ± 0.25
8	Верхний парк	Березняк с лиственницей и сосной низкотравный	То же	445 / N 52°45'21", E 103°38'03"	6.55 ± 0.15
9	На въезде в город (юго-восточная окраина)	Топольник с березой разнотравный	»	428 / N 52°43'42", E 103°40'17"	6.10 ± 0.20
10	Лесопарковая зона вблизи ж/д вокзала	Сосново-березовый разнотравный лес	»	439 / N 52°44'07", E 103°38'51"	6.40 ± 0.25
11	Микрорайон Зеленый городок	То же	»	487 / N 52°44'29", E 103°36'03"	5.60 ± 0.15
12	Окр. лыжной базы «Снежинка»	Сосняк с березой кустарниковый	»	461 / N 52°43'07", E 103°38'28"	5.45 ± 0.15
<b>Усольский район</b>					
13	Окр. д. Арансахой	Березняк с осиной высокотравный	Серая лесная почва	480 / N 52°48'95", E 103°20'18"	5.10 ± 0.10
14	Урочище Кулаково	Сосново-березовый высокотравный лес	То же	468 / N 52°50'44", E 103°09'26"	4.95 ± 0.15
15	Окр. пгт Мишелевка	Сосняк разнотравный	»	467 / N 52°51'27", E 103°11'04"	4.75 ± 0.20
16	Окр. снт Лужки (исчезнувшее поселение)	Березняк с сосной разнотравный	»	472 / N 52°48'86", E 103°35'09"	5.35 ± 0.20
17	Окр. с. Сосновка	Сосняк с березой рододендроновобрусничный	»	418 / N 52°49'05", E 103°24'15"	4.85 ± 0.15
18	По дороге в сторону с. Узкий Луг	Сосново-березовый разнотравный лес	»	497 / N 52°53'85", E 103°11'30"	5.45 ± 0.20
19	По дороге в сторону с. Бельск	Сосново-березовый орляково-папоротниково-разнотравный лес	»	475 / N 52°53'09", E 103°09'33"	5.70 ± 0.25

В почвах г. Усолье-Сибирское зарегистрировано большее число видов, чем в его окрестностях (табл. 2). Это связано с большим числом сборов в черте города (см. табл. 1).

Видовое разнообразие зеленых хлорофитовых водорослей превышает таковое других отделов как в почвах муниципального образования, так и на окрестных территориях. Зарегистриро-

Таблица 2. Почвенные водоросли лесных насаждений г. Усолье-Сибирского и его окрестностей

Таксон	Тип галлома	Число видов			
		Город (МО)			Район
		К	П	ТО	П
1	2	3	4	5	6
<b>Цианопрокaryota</b>					
<i>Aphanocapsa fuscolutea</i> Hansg.	к		1		1
<i>A. muscicola</i> (Menegh.) Wille	к		1		1
<i>Calothrix</i> sp.	н		1	1	
<i>Jaaginema pseudogeminatum</i> (G. Schmid) Anagn. et Komárek	н				1
<i>J.</i> sp.	н		1		1
<i>Leptolyngbya gracillima</i> (Hansg.) Anagn. et Komárek	н		1	1	
<i>L. notata</i> (Schmidle) Anagn. et Komárek	н		1		
<i>Nodularia sphaerocarpa</i> Bornet et Flahault	н		1		
<i>Nostoc commune</i> Vaucher ex Bornet et Flahault	н	1	1		
<i>N. paludosum</i> Kütz. ex Bornet et Flahault	н				
<i>N. punctiforme</i> Har.	н		1		1
<i>N.</i> sp.	н		1	1	
<i>Plectonema tomasianum</i> Bornet ex Gomont f. <i>gracile</i> (Hansg.) V. I. Poljansky	н		1		
<i>Roholtiella</i> cf. <i>edaphica</i> Bohunická et Lukešová	н		1		
<i>Scytonema ocellatum</i> Lyngb. ex Bornet et Flahault	н			1	
<i>Synechococcus</i> sp.	к	1	1		
<i>Trichormus ellipsosporus</i> (F. E. Fritsch) Komárek et Anagn.	н		1		
<b>Bacillariophyta</b>					
cf. <i>Achnanthes</i> Bory	к			1	
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenb.) Grunow	к		1		1
<i>Pinnularia borealis</i> Ehrenb.	к		1		
cf. <i>Navicula</i> Ehrenb.	к			1	1
<b>Ochrophyta</b>					
<i>Botrydiopsis arhiza</i> Borzi	к		1		1
<i>B.</i> cf. <i>eriensis</i> J. Snow	к		1		
<i>Heterococcus</i> sp.	с		1		
<i>Vischeria magna</i> (J. B. Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf et Friedl	к		1		1
<i>V. helvetica</i> (Vischer et Pascher) D. J. Hibberd	к		1	1	1
<i>Xanthonema</i> cf. <i>sessile</i> (Vinatzer) H. Ettl et G. Gärtner	н		1		
<i>X.</i> sp.	н		1		1
<b>Chlorophyta</b>					
<i>Bracteacoccus</i> cf. <i>grandis</i> H. W. Bisch. et H. C. Bold	к				1
<i>B. minor</i> (Schmidle ex Chodat) J. Petrová	к		1		1
<i>Bracteacoccus</i> sp.	к		1	1	1
<i>Chlamydocapsa</i> sp.	ГМ		1		1
<i>Chlamydomonas</i> cf. <i>macrostellata</i> J. W. G. Lund	м		1		1
<i>C.</i> cf. <i>noctigama</i> Korschikov	м		1		1
<i>C.</i> sp.1	м				1
<i>C.</i> sp.2	м		1		
<i>C.</i> sp.3	м		1		1
<i>C.</i> sp.4	м		1		
<i>Chloranomala</i> sp.	с		1		
<i>Chlorella vulgaris</i> Beij. f. <i>globosa</i> V. M. Andreyeva	к		1		
<i>Chlorococcum echinozygotum</i> R. C. Starr	к		1		1
<i>C. infusionum</i> (Schrank) Menegh.	к		1		1
<i>C.</i> sp.	к		1		

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
<i>Cholorosarcinopsis dissociata</i> Herndon	с		1		1
<i>C. eremi</i> Chantan. et H. C. Bold	с		1		
<i>C. gelatinosa</i> Chantan. et H. C. Bold	с		1		
<i>C. sp.</i>	с		1		
<i>Coccomyxa cf. elongata</i> Chodat et Jaag	к		1		1
<i>C. cf. subellipsoidea</i> Acton emend Jaag	к		1		1
<i>Coelastrella aeroterrestica</i> A. Tschaikner, G. Gärtner et W. Kofler	к		1		1
<i>C. terrestris</i> (Reisigl) E. Hegewald et N. Hanagata	к		1	1	1
<i>C. vacuolata</i> (Shihira et R. W. Krauss) E. Hegewald et N. Hanagata	к				1
<i>Edaphochlorella mirabilis</i> (V. M. Andreeva) Darienko et Pröschold	к		1		
<i>Elliptochloris subsphaerica</i> (Reisigl) H. Ettl et G. Gärtner	к		1		
<i>Eubrownia aggregata</i> (R. M. Br. et H. C. Bold) Shin Watan. et L. A. Lewis	с				1
<i>Heterotetracystis</i> -like alga	с		1		
<i>Leptosira erumpens</i> (Deason et H. C. Bold) Lukešová	н				1
Cf. <i>Lobochlamys culleus</i> (H. Ettl) T. Pröschold, B. Marin, U. W. Schlösser et M. Melkonian	м				1
<i>Macrochloris chlorococcoides</i> H. Ettl et G. Gärtner	к		1		1
<i>Muriella terrestris</i> J. B. Petersen	к		1		
<i>Mychonastes homosphaera</i> (Skuja) Kalina et Punčoch.	к		1		
<i>Neochlorosarcina cf. negevensis</i> (Friedman et Ocampo-Paus) Shin Watan.	с				1
<i>Neocystis sp.</i>	к				1
<i>Palmellopsis gelatinosa</i> Korshikov	гм		1		1
<i>Palmellopsis sp.</i>	гм		1		1
<i>Pleurastrum sarcinoideum</i> Groover et H. C. Bold	с		1		1
<i>P. cf. sarcinoideum</i> Groover et H. C. Bold	с				1
<i>P. terricola</i> (Bristol) D. M. John	с		1		
<i>Pleurastrum sp.</i>	с		1		
<i>Spongiochloris excentrica</i> R. C. Starr	к		1		
<i>S. sp.</i>	к				1
<i>Stichococcus bacillaris</i> Nägeli	н		1		1
<i>S. minor</i> Nägeli	н				1
<i>Tetracystis intermedia</i> (Deason et H. C. Bold) R. M. Br. et H. C. Bold	с				1
<i>T. sp.</i>	с		1		1
<b>Charophyta</b>					
<i>Klebsormidium cf. flaccidum</i> (Kütz.) P. C. Silva, Mattox et W. H. Blackw.	н		1		1
<i>K. cf. nitens</i> (Kütz.) Lokhorst	н		1	1	1
И т о г о... (77)	31к21н 15с7м3гм	2	61	10	44

*Примечание.* Тип морфологической дифференциации таллома (Масюк, 1989): к – коккоидный, н – нитчатый, м – монадный, гм – гемимонадный, с – сарциноидный. К – корочки водорослей; П – почва; ТО – техногенный отвал.

ванные хлорофитовые водоросли представлены разными типами морфологической дифференциации таллома.

Большинство видов – коккоидной формы (42.3 % от общего числа зеленых хлорофитовых водорослей), значительная доля приходится на образующие комплексы клеток (сарциноидные) водоросли (30.0 %), разнообразие монад-

ных (14.9 %), гемимонадных (6.4 %), нитчатых (6.4 %) водорослей уступает коккоидным и сарциноидным.

Цианопрокариоты занимают вторую позицию по числу видов. Однако в ряде случаев они являются доминантами альгогруппировок, например техногенного отвала. Они же образовывали корочки на почве (пункт № 3, синехококкус;

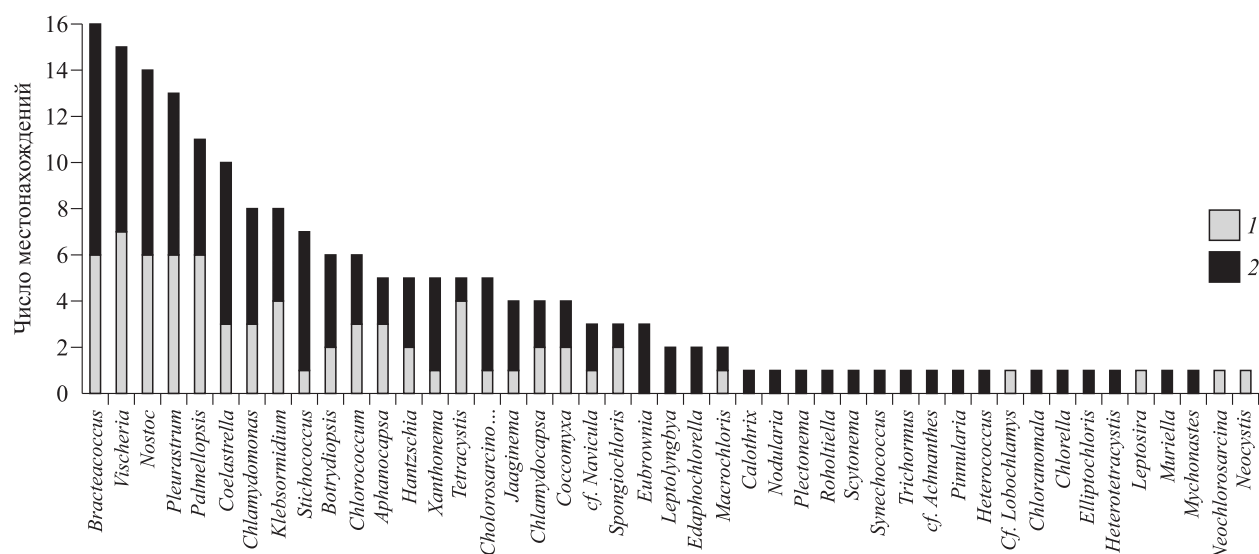


Рис. 2. Встречаемость родов водорослей в лесных почвах г. Усолье-Сибирское (2) и его окрестностей (1).

№ 6, носток обыкновенный, табл. 2). Цианопрокариоты представлены преимущественно нитчатыми организмами (82.3 % от их общего числа), значительно менее коккоидными (17.7 %). На долю потенциально способных к азотфиксации видов родов носток, рохольтиелла (*Roholtiella* sp.), сцитонема (*Scytonema* sp.), трихормус (*Trichormus* sp.) приходится 52.9 % от числа представителей этого отдела. Большинство диатрофов найдены в почвах лесных насаждений города и на отвалах Химпрома.

Во всех изученных образцах обнаружены желтозеленые водоросли, коккоидные виды родов ботридиописис (*Botrydiopsis* sp.), вишерия (*Vischeria* sp.), нитчатые, легко распадающиеся на отдельные клетки и фрагменты нитей, ксантонема (*Xanthonema* sp.) и образующие пакеты клеток и ветвящиеся гетерококкус. В массе обнаружены только водоросли рода вишерия. В частности, их регистрировали прямым микроскопированием вместе с цианопрокариотами в образцах грунта техногенного отвала. Среди диатомовых водорослей зарегистрировано небольшое число видов. Чаще других находили ханцшию обоюдоострую (рис. 2).

Единичны зеленые харофитовые водоросли, которые представлены видами рода клебсормидиум (*Klebsormidium* sp.), типичного для наземных местообитаний, способного развиваться даже в экстремальных условиях. Водоросли клебсормидиум – также характерные обитатели почв и различных наземных субстратов в урбоэкосистемах (Rindi, Guiry, 2004; Rindi et al., 2008).

К наиболее часто выявляемым родам принадлежат брактеакоккус, вишерия, носток, плев-

раструм, пальмеллописис, целастрелла, обнаруженные в большинстве пунктов в окрестностях города и на его территории. Представители 20 родов водорослей в настоящее время зарегистрированы только в одном местонахождении, преимущественно в городских почвах. Водоросли других 19 родов находили в 2–8 местонахождениях. Большинство выявленных родов водорослей встречаются в разных наземных местообитаниях. В исследованных почвах также найдены виды, находки которых для Байкальского региона приводятся впервые, такие как представители родов рохольтиелла, хлораномала, лептозира (*Leptosira* sp.), неохлоросарцина (*Neochlorosarcina* cf. *negevensis*), плевраструм (рис. 3).

Возможно, ряд зарегистрированных в почвах Усо́лья-Сибирского водорослей являются новыми для науки видами.

Водоросли хлораномала, неохлоросарцина, плевраструм в числе других, выделенных из лесных почв Усо́лья-Сибирского и прилегающих территорий, включены в коллекцию культур водорослей СИФИБР СО РАН – ИРК–А (всего 21 штамм) для дальнейших исследований.

В органоаккумулятивном горизонте изученных почв обнаружено от 2 до 17 видов водорослей (рис. 3). Среднее число видов в почвах всех изученных пунктов 10.9. В почвах лесных насаждений окрестностей г. Усо́лья-Сибирское оно составило 9.9, на территории МО – 11.7. Анализ систематической структуры на уровне отделов группировок водорослей показал, что в антропогенно нарушенных и ненарушенных почвах лесных фитоценозов она имеет сходные черты (рис. 4).

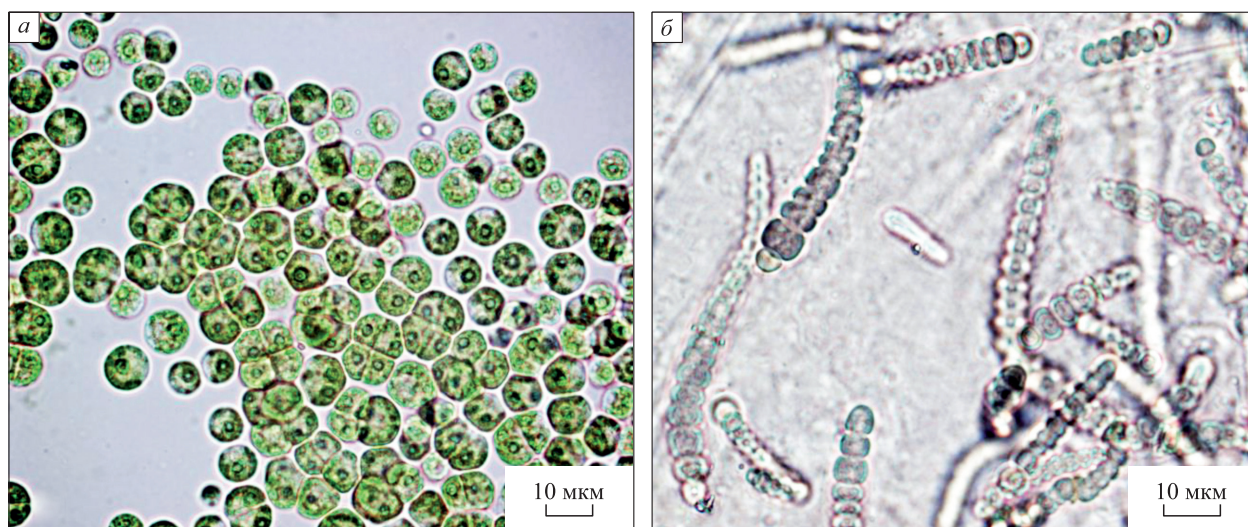


Рис. 3. Виды водорослей, впервые найденные в лесных почвах г. Усолье-Сибирского и его окрестностей. а – *Neochlorosarcina cf. negevensis*; б – *Roholtiella cf. edaphica*.

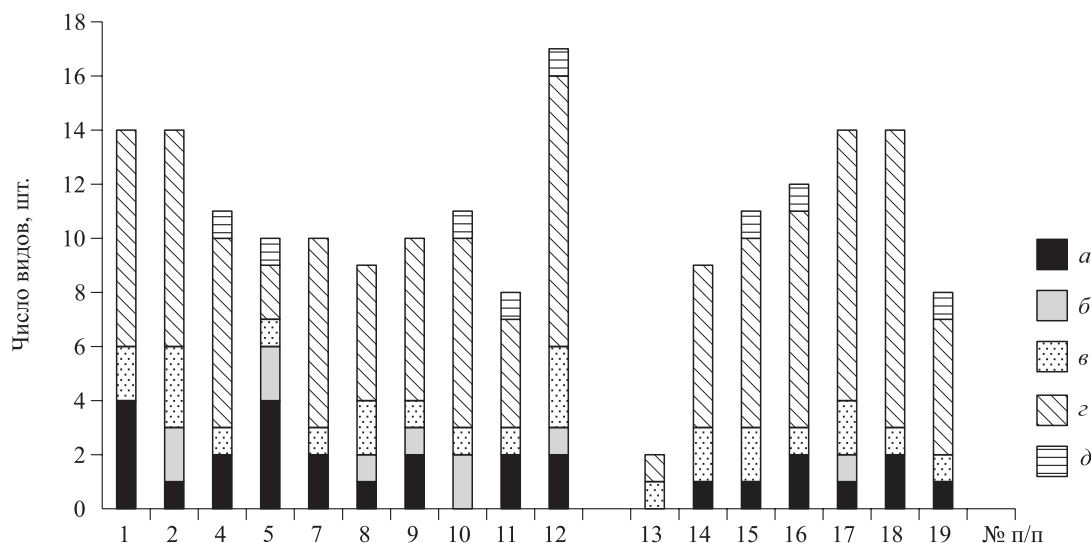


Рис. 4. Состав на уровне отделов группировок водорослей в лесных почвах г. Усолье-Сибирского и его окрестностей. Водоросли: а – цианопрокариоты; б – диатомовые; в – желтозеленые; г – зеленые; д – харофиты.

В табл. 3 суммированы данные о составе водорослей лесных почв нескольких промышленных городов Иркутской области, расположенных в Иркутско-Черемховской равнинной впадине.

В составе почвенных альгокомплексов исследованных урбоэкосистем преобладают хлорофитовые водоросли и цианопрокариоты. Ведущая роль принадлежит хлорофитовым, за исключением г. Иркутска, где по числу зарегистрированных видов выделяются цианопрокариоты.

В целом высокое разнообразие зеленых водорослей, а среди них коккоидных форм, наличие желтозеленых, относительно небольшое

число видов диатомовых водорослей, типичных для лесных почв умеренного увлажнения (Алексахина, Штина, 1984), наиболее свойственно кислым почвам хвойных фитоценозов (Перминова и др., 1989; Дутина и др., 1991; Мальцева, 2009; Novakovskaya et al., 2020; и др.).

Как отмечено выше, значительное число видов цианопрокариот выявлено в г. Иркутске (табл. 3). Вероятно, это связано с особенностями почвенно-растительных условий пунктов изысканий, которые включали газоны, придомовые территории, места вблизи водоколонок (Судакова, 2000). Этим же можно объяснить разнообразие в Иркутске требовательных к влаж-



**Таблица 3.** Состав альгокомплексов почв лесных насаждений г. Усолье-Сибирского и его окрестностей в сравнении с другими промышленными городами Иркутской области

Водоросли	Усолье-Сибирское	Саянск	Иркутск	Шелехов
Цианопрокариоты	17	5	44	29
Эвгленозои (Euglenozoa)	–	–	1	–
Желтозеленые	7	5	10	12
Диатомовые	4	3	20	9
Зеленые	47	18	25	31
Харофиты (Charophyta)	2	1	2	2
В с е г о ...	77	32	102	83

*Примечание.* По Саянску, Иркутску, Шелехову использованы материалы Е. А. Судаковой (Высоких, Судакова, 1994; Судакова и др., 1994; Судакова, 2000). Данные по Иркутску включают также сведения по водорослям газонов, придомовых территорий, мусорных свалок.

ности диатомовых водорослей. В Усолье-Сибирском число зарегистрированных цианопрокариот значительно меньше, чем в Иркутске и Шелехове, но превышает таковое в г. Саянске. Более бедный комплекс цианопрокариот в Усолье-Сибирском и Саянске объясняется в некоторой степени разовыми сборами почвенных образцов. В Усолье-Сибирском большее разнообразие цианопрокариот зарегистрировано в городских лесных насаждениях, чем на окрестных территориях (см. табл. 1). В целом почвам урбоэкосистем Иркутской области свойственно подщелачивание (Шергина, Михайлова, 2007; Шергина и др., 2018; и др.). Некоторые исследователи полагают, что цианопрокариоты лучше адаптированы к щелочным субстратам (Большев, 1968; Голлербах, Штина, 1969). Вероятно, большее разнообразие цианопрокариот в лесных насаждениях города можно связать с более благоприятным для их функционирования рН. Повышенное содержание кальция в исследуемых почвах также может быть благоприятным фактором для развития цианопрокариот. К другим таким факторам относятся обеспеченность почв азотом. Недостаток азота способствует развитию азотфиксирующих водорослей в комплексе микрофототрофов (Zhang et al., 2009, 2011; и др.). В наших исследованиях диазотрофы преимущественно встречались в почвах городских лесных насаждений. По сравнению с фоновыми территориями эти почвы беднее азотом (Шергина и др., 2018).

Постоянным компонентом изученных нами альгокомплексов являются желтозеленые водоросли (рис. 4). Они обнаружены в почвах всех исследованных урбоэкосистем Иркутской области (табл. 3). На заводских территориях Шелехова и Саянска эти водоросли отсутствовали (Высоких, Судакова, 1994; Судакова и др., 1994).

В Иркутске они обнаруживались в почвах дворов и парков, около водоколонок, хотя и с невысокой частотой встречаемости (Судакова, 2000). Желтозеленые водоросли предложено рассматривать в качестве индикаторов на загрязненные субстраты (Москвич, 1973). Ранее отмечали, что в районах воздействия промышленных предприятий желтозеленые нитчатые и влаголюбивые одноклеточные формы исчезают одними из первых (Хайбуллина и др., 2011). Нами не обнаружено такой закономерности для лесных почв г. Усолья-Сибирского, что может быть свидетельством сохранения ими своих свойств.

В результате исследований установлено, что число видов водорослей в районе наших работ несколько выше на загрязненных территориях, чем на фоновых. Тем не менее необходимы дополнительные исследования, чтобы установить, как влияет загрязнение на видовое разнообразие альгокомплексов. Наименьшее число видов (2) обнаружено в почве, не подверженной техногенному загрязнению, в окр. с. Арансахой. Повидимому, это связано с особенностями почвенно-растительных условий в данном местонахождении, к которым относятся невысокое содержание гумуса (3–4 %), слабая толщина гумусированного слоя (до 9–11 см) и сильная задернованность почвы с участием злаковых.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами изыскания выявили значительное разнообразие видов почвенных водорослей в лесных насаждениях г. Усолья-Сибирского и его окрестностей. Состав и структура альгокомплексов лесных почв МО Усолье-Сибирского свидетельствует о сохранении ими общих черт, свойственных таковым почв естественных биогеоценозов. Число видов в альгокомплексах

отдельных лесных ассоциаций, расположенных на территории промышленных предприятий или вблизи них, сопоставимо с зарегистрированными в других пунктах изысканий. При этом альгокомплекс почв городских лесов и лесопарков имеет свои особенности, что связано с почвенно-растительными условиями изученных биотопов. В числе обнаруженных водорослей найдены новые для Байкальского региона виды.

*Работа выполнена в рамках государственного задания, № проекта FWSS-2022-0002, а также при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, № проекта 20-44-380016 и при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2020-787 на реализацию крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технического развития (проект «Основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки на Байкальской природной территории»).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенова Н. П., Баранова О. Г. Краткий обзор урбанофлоры эдафотрофных водорослей и цианопрокариот г. Ижевска // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. «Биология. Науки о Земле». 2010. Вып. 1. С. 27–31.
- Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1984. 150 с.
- Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.
- Андросова Е. А. О составе водорослей почв г. Новосибирска и его окрестностей // Тр. ЦСБС СО АН СССР. 1964. Вып. 8. С. 148–157.
- Артамонова В. С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
- Большев Н. Н. Водоросли и их роль в образовании почв. М.: МГУ, 1968. 84 с.
- Вишняков В. С. Местонахождения вошерий (*Vaucheria*, Xanthophyceae) в Иркутской области и Республике Бурятия // Тр. ИБВВ РАН. 2019. Вып. 85 (88). С. 44–45.
- Высоких Е. М., Судакова Е. А. Изменение почвенной биоты под влиянием промышленных выбросов цветной металлургии // Биология и экология в системе современного педагогического образования: материалы межвуз. науч.-практ. конф. Ч. 1. СПб.; Ставрополь, 1994. С. 55–56.
- Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1969. 228 с.
- Дорохова М. Ф., Кошелева Н. Е., Терская Е. В. Экологическое состояние городских почв в условиях антропогенного засоления и загрязнения (на примере Северо-Западного округа Москвы) // Теор. прикл. экол. 2015. № 4. С. 16–24.
- Дутина О. П., Судакова Е. А., Захурнаева Н. Н. Почвенные альгосинузии лесных сообществ Прибайкалья // Рациональное использование и охрана растительных ресурсов Центральной Сибири: сб. науч. тр. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 1991. С. 39–48.
- Егорова И. Н. Новые виды в составе наземной альгофлоры Байкальского региона // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Биология. Экология». 2011. Т. 4. № 3. С. 18–22.
- Егорова И. Н., Максимова Е. Н. Наземные водоросли Байкальского региона: библиографический указатель. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2018. 87 с.
- Егорова И. Н., Шамбуева Г. С., Шергина О. В., Шинен Н. К экологии *Nostoc commune* (Cyanoprokaryota) из Южной Сибири и Монголии // Сиб. лесн. журн. 2019. № 1. С. 16–29.
- Егорова И. Н., Судакова Е. А., Максимова Е. Н., Туликова Г. С. Наземные водоросли гор Южной Сибири и Северной Монголии // Бот. журн. 2020. Т. 105. № 2. С. 107–132.
- Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2014. 768 с.
- Картушин В. М. Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири. Сер. карт из 9 листов. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1968. 9 л.
- Кондакова Л. В., Пирогова О. С., Ашихмина Т. Я. Сравнительный анализ альгофлоры пойменных биогеоценозов реки Вятки на территории ГПЗ «Нургуш» и Заречного парка г. Кирова // Теор. и прикл. экол. 2016. № 3. С. 68–75.
- Коновалова Т. И., Наговицина Е. И. Трансформация геосистем восточной части Предсаянского прогиба // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 34–52.
- Костіков І. Ю., Романенко П. О., Демченко Е. М., Дарієнко Т. М., Михайлюк Т. І., Рыбчинський О. І., Солоненко А. М. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори). Київ, 2001. 300 с. (на украин. яз.).
- Ломоносов И. С., Кустов Ю. И., Пиннекер Е. В. Минеральные воды Прибайкалья. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1977. 224 с.
- Лопатовская О. Г., Максимова Е. Н. Ионно-солевая и альгологическая характеристика снежного покрова как один из элементов оценки состояния окружающей среды // Пробл. рег. экол. 2010. № 3. С. 35–39.
- Мальцева І. А. Ґрунтові водорості лісів степової зони України. Мелітополь: Люкс, 2009. 312 с. (на украин. яз.).
- Масюк Н. П. Строение тела особи // Водоросли. Справочник. Киев: Наук. думка, 1989. С. 63–76.
- Москвич Н. П. Опыт использования водорослей при изучении санитарного состояния почв // Бот. журн. 1973. Т. 58. № 3. С. 412–416.
- Назаренко И. И. Сравнительный анализ таксономической структуры альгобактериальных сообществ города Красноярска, Сосновоборска и Железногорска // Акт. пробл. авиации и космонавтики. Техн. науки. 2013. Т. 1. С. 276–278.
- Напрасникова Е. В. Санитарно-микробиологические и биохимические свойства почв индустриального города Усолье-Сибирское // Сиб. мед. журн. 2019. Т. 159. № 4. С. 55–57.
- Перминова Г. Н., Гутцивили И. С., Китаев Е. В. Почвенные водоросли фитоценозов Байкальского заповедника

- ка // Водоросли, лишайники, грибы и мохообразные в заповедниках РСФСР. Сб. науч. трудов ЦНИЛ Глав-охоты РСФСР. М., 1989. С. 17–26.
- Почвенная карта Иркутской области. М 1:1 500 000 / Под ред. В. Т. Колесниченко, К. А. Уфимцевой. М.: ГУГиК, 1988. 2 л.
- Седых Е. С., Зарипов Р. Х. Ртуть в почвах Усольского промышленного района (Верхнее Приангарье) // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9. № 1. С. 21–29.
- Судакова Е. А. Особенности альгофлоры почв г. Иркутска // Проблемы экологии, биоразнообразия и охраны природных экосистем Прибайкалья. Сб. ст. к 80-летию каф. ботаники и генетики Иркут. гос. ун-та. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2000. С. 151–160.
- Судакова Е. А., Хворова Н. Б., Довыденко О. Е. Альгофлора почв окрестностей г. Шелехова // Актуальные проблемы биологии. Тез. докл. юбилей. науч. конф. Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 1994. С. 88.
- Суханова Н. В., Фазлутдинова А. И., Хайбуллина Л. С. Диатомовые водоросли почв городских парков // Почвоведение. 2000. № 7. С. 840–846.
- Трухницкая С. М. Особенности сложения альгобактериальных ценозов селитебных территорий г. Красноярск // Вестн. КрасГАУ. 2012. Вып. 4. С. 152–157.
- Филонова Е. Н. Почвенные водоросли стрессированных тяжелыми металлами территорий долины малой реки (на примере р. Ельцовка-2 г. Новосибирск // Сиб. экол. журн. 2001. Т. 8. № 4. С. 455–460.
- Хайбуллина Л. С., Суханова Н. В., Кабиров Р. Р. Флора и синтаксономия почвенных водорослей и цианобактерий урбанизированных территорий. Уфа: Гилем, 2011. 216 с.
- Шаманский В. Ф. Усолье-Сибирское: историко-экономический очерк. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1994. 217 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Ин-т геогр. СО РАН, 2007. 200 с.
- Шергина О. В., Михайлова Т. А., Калугина О. В. Изменение биогеохимических показателей в сосновых лесах при техногенном загрязнении // Сиб. лесн. журн. 2018. № 4. С. 29–38.
- Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Штина Э. А. Методы изучения почвенных водорослей. Киров: Киров. с.-х. ин-т, 1981. 35 с.
- Algal culturing techniques / R. A. Andersen (Ed.). Elsevier Acad. Press, 2005. 578 p.
- Novakovskaya I. V., Dubrovskiy Y. A., Patova E. N., Novakovskiy A. B., Sterlyagova I. N. Influence of ecological factors on soil algae in different types of mountain tundra and sparse forests in the Northern Urals // Phycologia. 2020. V. 59. Iss. 4. P. 320–329.
- Rindi F., Guiri M. D. Composition and spatial variability of terrestrial algal assemblages occurring at the bases of urban walls in Europe // Phycologia. 2004. V. 43. Iss. 3. P. 225–235.
- Rindi F., Guiri M. D., López-Bautista Ju. M. Distribution, morphology, and phylogeny of *Klebsormidium* (Klebsormidiales, Charophyceae) in urban environments in Europe // J. Phycol. 2008. V. 44. Iss. 6. P. 1529–1540.
- Stanier R. Y., Kunisawa R., Mandel M., Cohen-Bazire G. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chlorococcales) // Bacteriol. Rev. 1971. V. 35. Iss. 2. P. 171–205.
- Starr R. C., Zeikus J. A. UTEX: The culture collection of algae at the University of Texas at Austin // J. Phycol. 1993. V. 29. Iss. s2. P. 1–106.
- Sukhanova N. V., Fazlutdinova A. I., Khaibullina L. S. Soil diatoms of urban parks // Eurasian Soil Science. 2000. V. 33. Iss. 7. P. 733–738 (Original Rus. Text © 2000, N. V. Sukhanova, A. I. Fazlutdinova, L. S. Khaibullina, publ. in Pochvovedenie. 2000. N. 7. P. 840–846).
- Zhang B.C., Zhang Yu. M., Zhao J. C., Wu N., Chen R. Y., Zhang J. Microalgal species variation at different successional stages in biological soil crusts of the Gurbantunggut Desert // Biol. Fertil. Soils. 2009. V. 45. Iss. 5. P. 539–547.
- Zhang B., Zhang Yu., Downing A., Niu Yu. Distribution and composition of Cyanobacteria and microalgae associated with biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, China // Arid Land Res. Manag. 2011. V. 25. Iss. 3. P. 275–293.

## **SOIL ALGAE OF FOREST STANDS OF THE TOWN OF USOL'E-SIBIRSKOE AND ITS SURROUNDING TERRITORIES (IRKUTSK OBLAST)**

**I. N. Egorova, G. S. Tupikova, O. V. Shergina**

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Lermontov str., 132, Irkutsk, 664033 Russian Federation*

The article presents for the first time data on the composition and structure of algae groupings in gray forest soils of the town of Usol'e-Sibirskoe and its surrounding territories, exposed to technogenic pollution. Samples from 19 locations, mainly forest stands, located on the territory of the town (12 locations) and its surroundings (7 locations) were studied. Using culture-dependent methods, 77 species from five divisions of Cyanoprokaryota (22 % of the total number of species), Bacillariophyta (5 %), Ochrophyta (9 %), green algae (Chlorophyta) (61 %), Charophyta (3 %) were registered. The largest number of species are represented by green algae, which is typical for forest soils. A variety of Cyanoprokaryota species was noted in the soils of the town, which are characterized by lower acidity, increased content of exchangeable calcium, sodium, sulfur, and a lower content of total nitrogen compared to the background. In the studied forest stands on the territory of the town, the diversity of algae groupings was higher (the average number of species was 11.7) than in its surroundings (an average of 9.9 species). Composition and structure of algogroups of the studied forest soils of Usol'e-Sibirskoe testifies to their preservation of common features characteristic of such soils of natural biogeocenoses. According to the number of species, the distribution of species in the departments, the soil algocomplex of forest stands in the town of Usol'e-Sibirskoe and its surrounding territories is similar to those of other industrial centers of Irkutsk Oblast: Sayansk, Shelekhov, and Irkutsk.

**Keywords:** *algogroups, gray forest soils, biodiversity, technogenic pollution.*

**How to cite:** *Egorova I. N., Tupikova G. S., Shergina O. V. Soil algae of forest stands of the town of Usol'e-Sibirskoe and its surrounding territories (Irkutsk Oblast) // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 66–77 (in Russian with English abstract and references).*