

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра микробиологии и физиологии растений

**МИКРООРГАНИЗМЫ АЗОТНОГО ЦИКЛА АНТРОПОГЕННО
НАРУШЕННЫХ ПОЧВ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 422 группы

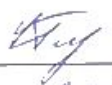
Направления подготовки бакалавриата 06.03.01 Биология

Биологического факультета

Овечкиной Анастасии Андреевны

Научный руководитель:

доцент, канд. биол. наук


6.06.2025

Е. В. Глинская

Зав. кафедрой:

профессор, док. биол. наук


6.06.2025

С. А. Степанов

Саратов 2025

Введение. Азот является одним из самых биологически важных элементов. Он контролирует состав видов в морских, наземных и пресноводных экосистемах. Азот – материал для построения биологически важных молекул таких, как белки, аминокислоты, нуклеиновые кислоты и др. [1].

В атмосфере азот представлен в виде молекулярного газа азота, на который приходится примерно 78 % от общего объема газов атмосферы. Однако в такой форме азот не усваивается растениями, поэтому азот является ограничивающим фактором в различных экосистемах [2].

Биогеохимический круговорот азота в природе является ключевым процессом для всех живых организмов. Главная роль в превращении азота отведена почвенным бактериям [3].

Бактерии, участвующие в круговороте азота, подразделяются на физиологические группы: азотфиксаторы, аммонификаторы, нитрификаторы, денитрификаторы [4].

Почва является естественной средой обитания различных бактерий. В ней они находят все необходимые условия для жизнедеятельности. Антропогенное нарушение почв, вызванное урбанизацией, промышленностью и сельским хозяйством, изменяет свойства и повышает антропогенную нагрузку на почвенные ресурсы. Нарушенные почвы характеризуются снижением плодородия, изменением химических и физических свойств, а также кислотности среды.

Разнообразие и численность микроорганизмов азотного цикла могут значительно варьировать в естественных и нарушенных почвах. Преимущество микробиологического метода заключается в том, что изменения условий среды в течение короткого времени отражаются на структуре и функционировании микробного сообщества. Поэтому микробиологические исследования являются актуальным методом для контроля антропогенной нагрузки и оценки степени загрязнения в городах с развитой промышленностью, сельским хозяйством и урбанизацией [5].

Актуальность исследования бактерий азотного цикла обусловлена ростом антропогенной нагрузки на почвенные ресурсы, что ведет к экологическим рискам. Микроорганизмы, ответственные за трансформацию азота, выступают индикаторами состояния почв и ключевым звеном в восстановлении их функций, однако их адаптационный потенциал в условиях хронического стресса (тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды) изучен недостаточно.

Практическая значимость заключается в возможном использовании данных, полученных в ходе этого исследования, в рамках программ экологического мониторинга, при планировании рекультивационных мероприятий и проведении агротехнологий, а также для разработки биопрепаратов, восстанавливающих нарушенные почвы до естественного состояния.

Цель работы – анализ видового разнообразия и биологических свойств микроорганизмов, участвующих в трансформации азота, выделенных из антропогенно нарушенных почв г. Балаково.

Для выполнения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) выделить и идентифицировать бактериальные штаммы из почвенных образцов;
- 2) определить численность и индекс встречаемости микроорганизмов;
- 3) изучить субстратный спектр бактерий;
- 4) оценить устойчивость микроорганизмов к абиотическим факторам среды.

Объектом исследования стали антропогенно нарушенные почвы, отобранные в черте г. Балаково (Саратовская область).

Балаково – крупный промышленный центр Саратовской области, расположенный на левом берегу Саратовского и Волгоградского водохранилищ, с населением около 182 тысяч человек. В городе и его окрестностях расположены крупные энергетические предприятия – Саратовская гидроэлектростанция, Балаковская атомная электростанция, Балаковская ТЭЦ-4, предприятия машиностроительной отрасли – АО «Вагоностроительный завод»,

ЗАО «Завод электромонтажных конструкций «Гидроэлектромонтаж», АО «Волжский дизель имени Маминых», ООО «Фойт Гидро», ООО «Балаковский судоремонтный завод»; химической – АО «Балаковорезинотехника», ООО «Балаково Карбон Продакшн», завод «Аргон», Балаковский филиал АО «Апатит»; металлургической – металлургический завод «Балаково». Кроме того, функционирует ряд предприятий других профилей (транспортной, строительной, пищевой, легкой и пр.). Также имеются крупные, переставшие существовать, предприятия (завод волоконных материалов, деревообрабатывающий завод, ЖБИ-3, кирпичный завод и др.), но при анализе состояния почв необходимо учитывать расположение их бывших промышленных площадок с целью интерпретации возможных «реликтовых» очагов загрязнения [6].

Территория г. Балаково характеризуется распространенным глинистым и тяжелосуглинистым механическим составом черноземов южных остаточнo-луговатых с участием в комплексе лугово-каштановых почв до 10-25 %, а также наличием аллювиальных дерновых насыщенных, темно-каштановых почв, чернозёмов южных и комплексом почв – черноземов с солонцами (> 50 %), каштановых с солонцами (25-50 %) [7].

Климат континентальный. Летом преобладают ветры северного и северо-восточного направления, в холодное время года – южного и юго-западного.

В работе использовали 34 образца почв. Опробованию подвергли верхнюю часть почвенного горизонта «А» на глубине 20 см, где накапливается основная масса загрязнителей, оседающих из атмосферы. Отбор проб из верхнего почвенного горизонта (до 5 см) методом конверта на площадках размером 5×5 м проведен в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Площадками опробования были урбанозёмы, индустриозёмы, культурозёмы и природные почвы.

Выбор мест отбора проб почвы осуществлялся с учётом расположения города, климатических и ландшафтных особенностей, а также функционального зонирования территории. Основными участками для отбора проб почвы были

выбраны территории детских садов, жилых домов, городских парков, а также действующие и нефункционирующие промышленные предприятия.

Для выделения индикаторных микроорганизмов (свободноживущих азотфиксирующих, аммонифицирующих, нитрифицирующих и денитрифицирующих бактерий) использовали метод последовательного разведения и посева на плотные питательные среды.

Для приготовления почвенной суспензии отбирали по 1 г почвы из каждой пробы и суспензировали в 99 мл стерильного физиологического раствора. Каждую из колб, соответственно, хорошо встряхивали для обеспечения дисперсности суспензии. В результате получали разведение 1:100 (10^{-2}) и из него последовательно готовили рабочие разведения (10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7}).

По 0,1 мл почвенной суспензии высевали на питательные среды.

Культивирование бактерий проводили на селективных средах следующего состава (г/л):

- для азотфиксаторов – среда Эшби: глюкоза - 20; K_2HPO_4 - 0,2; $MgSO_4$ - 0,2; NaCl - 0,2; K_2SO_4 - 0,2; $CaCO_3$ - 5,0; голодный агар - 20,0;
- для аммонификаторов – пептонный агар: пептон - 10,0; голодный агар - 20,0;
- для нитрификаторов – среда Виноградского: $(NH_4)_2SO_4$ - 2,0; K_2HPO_4 - 5,0; $MgSO_4$ - 2,5; NaCl - 2,5; $FeSO_4$ - 0,05; голодный агар - 20,0;
- для денитрификаторов – нитратный агар (ГРМ-агар с 0,1 % KNO_3): ГРМ - 38 ± 2 ; KNO_3 - 1,0.

Посевы инкубировали в термостате при температуре +28 °C в течение 3-5 суток, посевы со средой ГРМ-агар с добавлением 0,1 % KNO_3 культивировали в эксикаторе в микроаэрофильных условиях в течении 3 суток [8].

Идентификацию бактерий проводили на основании изучения фенотипических свойств по «Определителю бактерий Берджи» (1997) [9].

Верификацию и определение неидентифицированных видов выполняли с использованием метода MALDI-ToF масс-спектрометрии на базе ФКУН

Российский противочумный институт «Микроб» Роспотребнадзора. Из суточной культуры микроорганизмов, полученной с одной колонии, готовили белковые экстракты с использованием этанола, муравьиной и 80 %-ной трифторуксусной кислоты. Экстракцию производили в соответствии с МУ 4.2.3.733-21. В качестве матрицы использовали α -циано-4-гидроксикоричную кислоту (HCCA), ацетонитрила и 5 %-ной трифторуксусной кислоты. Сбор спектров осуществлялся в автоматическом режиме на приборе MALDI масс-спектрометре серии microflex (Bruker Daltonics GmbH, Германия) с использованием программы Flex Control (ver. 3.3). Полученные масс-спектры анализировали в программе Biotyper 3 (Bruker Daltonics, Германия). Таксономическое положение исследуемых изолятов определяли на основе значения индекса соответствия. После определения видовой принадлежности выделенных штаммов был рассчитан индекс их встречаемости среди исследуемых групп почв.

Определение спектра используемых субстратов бактериями, участвующих в трансформации азота, необходимо для понимания их роли в биогеохимических процессах и влияния на плодородие почв.

В ходе работы применяли метод посева исследуемых штаммов микроорганизмов на плотные дифференциально-диагностические питательные среды с источниками специфических субстратов. В качестве субстратов использовали следующие источники углерода: моносахариды (арабиноза, глюкоза, ксилоза), олигосахариды (лактоза, маннит, сахароза), полисахарид крахмал, спирт сорбит.

Посев изучаемых культур осуществляли штрихом или уколом и инкубировали при температуре +28 °С. О ферментативной активности судили по наличию зон гидролиза субстрата или изменению цвета индикатора среды. Для визуализации зон гидролиза, в некоторых случаях, использовали дополнительные вещества – раствор Люголя и 0,05 %-ный спиртовой раствор бромтимолового синего для поверхностно-активных веществ и пектинов.

Изучение воздействия различных физико-химических факторов на рост и активность бактерий, участвующих в цикле азота, позволяет определить

оптимальные условия, при которых бактерии могут эффективно фиксировать азот из атмосферы, превращая его в формы, доступные для растений.

В рамках исследования были выбраны 3 абиотических фактора: температура, солёность среды, водородный показатель (pH).

Для оценки воздействия температуры эксперименты были выполнены при трёх различных температурных режимах: низкий (+10 °C), средний (+28 °C) и высокий (+43 °C). Для оценки влияния хлорида натрия на рост микроорганизмов были проведены эксперименты с использованием трёх различных концентраций NaCl: 1, 5, 7 и 10 %. В работе также было изучено воздействие трёх различных значений водородного показателя (pH) среды: кислое (5), нейтральное (7) и щелочное (9).

Бакалаврская работа включает содержание, введение, 3 главы (обзор литературы, материал и методы исследования, результаты исследования, заключение, выводы и список использованных источников, включающий 42 источника на русском и английском языках. Работа изложена на 53 страницах машинописного текста. Работа проиллюстрирована 16 рисунками и 12 таблицами.

Основное содержание работы.

Анализ полученных результатов показал, что в пробах, отобранных на территории г. Балаково, численность азотфиксирующих бактерий находилась в диапазоне 5,3 - 7,3 lgКОЕ/г, аммонифицирующих – 6,2 - 10,0 lgКОЕ/г, нитрифицирующих – 5,0 - 6,3 lgКОЕ/г, денитрифицирующих – 5,0 - 7,0 lgКОЕ/г.

Максимальные численные показатели азотфиксирующих бактерий были зафиксированы в пробе 5. Данный образец является зеленой зоной между автодромом, пунктом приема металлолома и магазином стройматериалов. Минимальное количество азотфиксаторов отмечено в пробе 19. Образец почвы отобран с зеленой зоны в промышленной части города поблизости от предприятий: «Полипропилен-сервис» (производство полипропилена) – 200 м западу; ЗАО «Завод электромонтажных конструкций «Гидроэлектромонтаж» –

250 м к западу, ЛВ-Авто (резинотехнические изделия для автомобилей) и «Металлический завод Модина» (автозапчасти) – 250 м к югу.

Максимальная численность аммонификаторов выявлена в пробах 1 и 5. Образец 1 характеризуется как зеленая зона, район ул. Песчаной в частном секторе, 150 м от берега Волги. В 300 м к востоку «Балаковский гидроэлектромонтаж» (электротехника). Образец 5 – зеленая зона между автодромом, пунктом приема металлолома и магазином стройматериалов. Минимальное количество аммонификаторов находилось в пробе 47, точка отбора является участком между сельскохозяйственными полями и гаражным массивом.

Нитрифицирующие бактерии в максимальном количестве зафиксированы в пробе 43. Место отбора образца охарактеризовано как пустырь на Привокзальной улице. Вокруг частный сектор и складские базы. Минимальной численностью отмечены пробы 8, 10, 37, 48. Образец 8 – пустырь между частной застройкой и берегом Волги; до ремонтно-технического предприятия «Сельхозтехника» (металлообработка) 100 м. Образец 10 – зеленая зона между автостоянкой и жилыми постройками. Проба 37 – зеленая зона между детским садом и жилым домом. Образец 48 – площадка опробования расположена между сельскохозяйственным полем и заводом «Балаковорезинотехника»; точка в 300 м от завода и 160 м от ж/д.

Денитрифицирующие бактерии в максимальной численности зафиксированы в пробе 7. Минимальной численностью характеризовались образцы 5, 9, 14, 37.

В ходе анализа количественных показателей бактерий, выделенных из образцов почв выяснено, что максимальное количество бактерий исследуемых физиологических групп было зафиксировано в пробах, отобранных из зеленых зон города. Пробы, взятые с территории промышленной зоны города, характеризовались сниженной численностью бактерий, что свидетельствует о наличии незначительного антропогенного загрязнения, а также менее

благоприятных условиях для роста и физиологической активности микроорганизмов.

В нашем исследовании доминирующими семействами являются Moraxellaceae, Paenibacillaceae, Bacillaceae.

В ходе проведения работы по идентификации изолятов, было выявлено 8 видов бактерий, способных участвовать в трансформации азота: *Acinetobacter lwoffii*, *Aneurinibacillus aneurinilyticus*, *Bacillus cereus*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. drementensis*, *B. firmus*, *B. oleronius*.

Среди них присутствовали грамположительные палочки *A. aneurinilyticus*, *B. cereus*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. drementensis*, *B. firmus*, *B. oleronius* и грамотрицательная коккобациллярной формы бактерия *A. lwoffii*.

В природных почвах по морфологической структуре присутствовали только грамположительные бактерии, в остальных группах почв – грамположительные доминировали над грамотрицательными.

Большая часть исследуемых микроорганизмов относится к роду *Bacillus* (77,8 %), остальная часть к родам *Acinetobacter* (11,1 %) и *Aneurinibacillus* (11,1 %).

Род *Bacillus* является универсальным во всех группах почв, демонстрируя устойчивость к различным экологическим условиям. *Acinetobacter* отсутствует в природных почвах, однако представлен в остальных трёх группах почв. *Aneurinibacillus* присутствует в природных почвах и урбанозёмах.

Максимальными численными показателями среди изолятов обладал штамм *B. circulans* в пробе 1 (10,1 lgКОЕ/г), которая была отобрана в 300 м от предприятия «Балаковский гидроэлектромонтаж» и была отнесена к подгруппе природных почв. Минимальными количественными показателями обладал штамм *A. aneurinilyticus* в образце 21 (5,0 lgКОЕ/г), который был отобран в 50 м от церкви и жилого дома и был отнесен к подгруппе урбанозёмов.

Наибольшим индексом встречаемости обладал штамм *B. firmus* (47,1 %), который выделялся во всех группах почв. Это указывает на высокий адаптивный потенциал штамма и его важную роль в поддержании азотного цикла даже в

стрессовых условиях. Наименьшим индексом встречаемости обладали виды *A. aneurinilyticus* (5,8 %) и *B. oleronius* (11,7 %), которые были выделены из почв подгрупп урбанозёмов и природных почв. Умеренным индексом встречаемости обладали *B. drementensis* 17,6 %, *B. circulans* имел 20,5 %, *A. lwoffii* 23,5%. Они выделялись со всех почв и встречаемость в пределах групп почв варьировала от 16,6, до 44,4%.

Урбанозёмы и индустриозёмы демонстрируют сниженную численность бактерий, что связано с антропогенной нагрузкой. Например, *B. drementensis* в урбанозёме (проба 11) характеризовался крайне низким показателем – 4,7 lgKOE/г, *A. lwoffii* в индустриозёме (проба 43) обладал низким показателем, чем в культурозёмах – 5,5 lgKOE/г.

Культурозёмы показывают неоднородность распределения количественных показателей. Например, *B. cereus* в пробе 25 характеризуется высокой численностью 7,0 lgKOE/г, что может быть связано с внесением удобрений или агротехникой.

К фиксации атмосферного азота способны только 2 вида *A. lwoffii* и *B. circulans*. Причина сниженной потребности в азотфиксации заключается в достаточной доступности альтернативных источников азота (нитраты, органический азот) для метаболизма и роста бактериального сообщества. Способность к денитрификации характерна для большинства видов *A. lwoffii*, *A. aneurinilyticus*, *B. cereus*, *B. coagulans*, *B. drementensis*, *B. firmus*, *B. oleronius*, подчеркивая их функцию в этом процессе. Аммонификация наблюдается у бактерий с протеолитической активностью, а именно у *A. lwoffii*, *A. aneurinilyticus*, *B. circulans* и *B. firmus*.

В ходе проведенных экспериментов выяснили, что бактерии, участвующие в круговороте азота, используют разнообразные источники углерода для роста и размножения.

A. lwoffii и *B. coagulans* продемонстрировали наибольшую метаболическую гибкость, что подтверждается их способностью к утилизации широкого спектра органических соединений. Видом, разлагающим 55% используемых в работе

субстратов, стал *A. lwoffii*, способный утилизировать арабинозу, глюкозу, лактозу, сахарозу и крахмал. Умеренной гликолитической активностью обладали *B. cereus* и *B. drentensis*, которые утилизировали отдельные моно- и олигосахариды. При этом *B. drentensis*, в отличие от *B. cereus*, продемонстрировал дополнительную катаболическую функцию – гидролиз крахмала, что свидетельствует о наличии амилазных ферментативных систем и об экологической адаптации *B. drentensis* к среде с высокой доступностью крахмала (почва, разлагающаяся растительная биомасса). Наименьшую гликолитическую активность проявляли *A. aneurinilyticus*, *B. circulans*, *B. oleronius*.

Среди моносахаридов большинство бактерий предпочитали глюкозу (62,5 %), из олигосахаридов – сахарозу (75 %), следовательно, они являются универсальными источниками питательных веществ в метаболизме бактерий. Гидролиз крахмала осуществляли 62,5 % микроорганизмов, кроме *A. aneurinilyticus*, *B. drentensis*, *B. oleronius*. Широкое использование крахмала подчеркивает востребованность данного углевода среди бактерий. Можно предположить, что почвы богаты растительными остатками, что обуславливает доступность таких универсальных углеводов как глюкоза, сахароза, крахмал. Отсутствие использования бактериями ксилозы и сорбита объясняется низкой доступностью или метаболической непригодностью для данных бактерий.

В ходе анализа результатов серии экспериментов по определению устойчивости бактерий-трансформаторов азота к изменениям физико-химических факторов среды показано, что все изученные изоляты характеризовались различным диапазоном выживаемости в условиях действия абиотических факторов (рН, концентрация NaCl, T).

Все виды осуществляли рост при кислотном рН 5 (100 %), 7 (100 %) и 9 (100 %) среды, что позволяет им участвовать в ключевых биогеохимических процессах (аммонификация, денитрификация) в почвах. Высокой солеустойчивостью (5 - 10 %) к NaCl обладали виды *A. aneurinilyticus*, *B. cereus*, *B. coagulans*, *B. firmus*, *B. oleronius*. Следовательно, такие бактерии

могут колонизировать засоленные почвы в черте г. Балаково. Умеренной солеустойчивостью (1 - 7 %) к NaCl характеризовались *A. lwoffii*, *B. circulans*, *B. drentensis*, которые могут находиться в почвах с низкой или умеренной соленостью. Широким температурным диапазоном от 10 до 43 °С обладали *A. lwoffii*, *B. cereus*, *B. circulans*, *B. coagulans* и *B. firmus*. Узким температурным диапазоном от 28 до 43 °С характеризовались *A. aneurinilyticus*, *B. drentensis*, *B. oleronius*.

Заключение.

В ходе работы был проведен микробиологический анализ антропогенно нарушенных почв на территории г. Балаково (Саратовская область).

В результате скрининга были отобраны бактериальные культуры, способные к участию в трансформации азота. В ходе проведения идентификации большая часть изолятов принадлежала к роду *Bacillus* (77,8 %), остальная часть – к родам *Acinetobacter* (11,1 %) и *Aneurinibacillus* (11,1 %).

Результаты изучения биологических свойств бактерий азотного цикла, субстратного спектра и устойчивости к факторам среды были следующими. Наиболее устойчивыми к абиотическим факторам среды являлись виды *A. lwoffii*, *A. aneurinilyticus*, самым широким спектром используемых углеводов характеризовались виды *A. lwoffii* и *B. coagulans*.

На основании проведенного скрининга можно заключить, что почвы г. Балаково характеризуются доступностью как простых, так и сложных углеводов, нитратами и органическими азотсодержащими соединениями (белки, пептиды), потребность в фиксации азота низкая.

Выводы.

1) Из антропогенно нарушенных почв г. Балаково выделено 8 видов бактерий-участников цикла азота: *A. lwoffii*, *A. aneurinilyticus*, *B. cereus*, *B. circulans*, *B. coagulans*, *B. drentensis*, *B. firmus*, *B. oleronius*.

2) Численность азотфиксирующих бактерий в почвах г. Балаково находилась в диапазоне 5,3 - 7,3 lgКОЕ/г, аммонифицирующих – 6,2 - 10,0

lgKOE/г, нитрифицирующих – 5,0 - 6,3 lgKOE/г, денитрифицирующих – 5,0 - 7,0 lgKOE/г.

3) Бактерии *A. lwoffii* способны утилизировать 55 % используемых субстратов (арабиноза, глюкоза, лактоза, сахароза, крахмал). Умеренной гликолитической активностью обладали бактерии *B. cereus* и *B. drentensis*, которые использовали отдельные моно- и олигосахариды. Наименьшую сахаролитическую активность проявляли бактерии *A. aneurinilyticus*, *B. circulans*, *B. oleronius*.

4) Наиболее востребованные моносахариды, которые предпочитали большинство изолированных бактерий – глюкоза (62,5 %), олигосахариды – сахароза (75 %). Полисахарид крахмал утилизировали 62,5 % исследуемых видов микроорганизмов. Моносахарид ксилоза исследуемые бактерии не редуцировали.

5) Наиболее резистентными к абиотическим условиям среды были следующие микроорганизмы: *A. lwoffii* – самый устойчивый вид (диапазон NaCl 1 - 7 %, температурный диапазон 10 - 43 °C); *A. aneurinilyticus* – вид, наиболее устойчивый к высоким концентрациям NaCl (до 10 %), но менее резистентный к низким температурам (10 °C).

Список использованных источников

1 Sidorenko, M. L. Response of Nitrogen Cycle Microorganisms to Multifactorial Global Changes in Soil Ecosystems / M. L. Sidorenko // *Frontiers in Bioscience-Elite*. – 2025. – Vol. 17, № 1. – P. 1 – 9.

2 Effects of Global Change During the 21st Century on the Global Nitrogen Cycle / D. Fowler [et al.] // *Atmospheric Chemistry and Physics*. – 2015. – Vol. 15, № 24. – P. 13849 – 13893.

3 Kuypers, M. M. M. The microbial nitrogen-cycling network / M. M. M. Kuypers, H. K. Marchant, B. Kartal // *Nature Reviews Microbiology*. – 2018. – Vol. 16, № 5. – P. 263 – 276.

4 Zhang, X. Global Nitrogen Cycle: Critical Enzymes, Organisms, and Processes for Nitrogen Budgets and Dynamics / X. Zhang, B. B. Ward, D. M. Sigman // Chemical Reviews. – 2020. – Vol. 120, № 12. – P. 5308 – 5351.

5 Васильченко, А. В. Почвенно-экологический мониторинг: учебное пособие / А. В. Васильченко. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 281 с.

6 Обзор состояния и загрязнения окружающей среды на территории деятельности Саратовского ЦГМС – филиала ФГБУ «Приволжское УГМС» за 2022 г. / А. А. Балкаева [и др.]. – Саратов, 2023. – 82 с.

7 Шоба, С. А. Национальный атлас почв Российской Федерации / С. А. Шоба. – М.: Астрель, 2011. – 632 с.

8 Нетрусов, А. И. Практикум по микробиологии / А. И. Нетрусов, М. А. Егорова, Л. М. Захарчук. – М.: Академия, 2005. – 608 с.

9 Определитель бактерий Берджи в двух томах. Том 2 / Дж. Хоулт [и др.]. – М.: Мир, 1997. – 368 с.

