

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ГЕОСФЕРА.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

*Сборник статей
Всероссийской научно-практической конференции
(г. Уфа, 01 декабря 2021 г.)*

ВЫПУСК 14

**Уфа
РИЦ БашГУ
2021**

УДК 550.331
ББК 26.211
Г35

*Печатается по решению учебно-методической комиссии
факультета наук о Земле и туризма БашГУ.
Протокол No 4 от 28.11.2021 г.*

Редакционная коллегия:

канд. геогр. наук **А.Ф. Нигматуллин** (*отв. редактор*);
канд. геогр. наук, доцент кафедры геодезии, картографии и
географических информационных систем **А.Р. Усманова** (*отв. секр.*)
старший преподаватель кафедры геодезии, картографии и географических
информационных систем **Г.М. Гизатшина**

Г35 Геосфера. Современные проблемы естественных наук: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (01 декабря 2021г.). Вып.14 / отв. ред. А.Ф. Нигматуллин – Уфа: РИЦ БашГУ, 2021. – 492 с.

ISBN978-5-7477-5401-0

В сборнике представлены научные статьи, посвященные проблемам теоретического и практического изучения геологического строения, гидрологических особенностей, геоэкологии, вопросов современного состояния природно-территориальных систем и социально-экономического развития территории.

Статьи приводятся в авторской редакции, авторы несут ответственность за достоверность и точность материала.

УДК 550.331
ББК 26.211

ISBN978-5-7477-5401-0

© БашГУ, 2021

УДК 631.421.2, 504.064.36, 631.461

¹Е.Д. Сачкова, ²А.Р. Никулина, ³Л.В. Бубнова,
¹ученица 11 класса, МБОУ г. Иркутска СОШ
с углубленным изучением отдельных предметов № 19, г. Иркутск
²студентка 3 курса института наук о Земле,
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург
³учитель географии, МБОУ г. Иркутска СОШ
с углубленным изучением отдельных предметов № 19, г. Иркутск

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. ИРКУТСКА)

Аннотация. В статье рассматривается проблема комплексного подхода при экологической оценке состояния почв. Предлагается определение физических, химических и биологических параметров почв для проведения экологических исследований. Предполагаемый итог подобных исследований – гармонизация физико-химических показателей с биологическими, отражающими интегральное влияние всех факторов среды на организмы, которые являются неотъемлемым звеном экосистем. Выделены 4 блока лабораторных работ, позволяющие постепенно расширять представления об экологическом состоянии почв, степени их преобразованности и устойчивости к антропогенному воздействию. Данная методика может быть применена как специалистами в области экологии почв, так и в рамках написания исследовательских и курсовых работ школьниками и студентами. Результаты мониторинга могут быть полезны природопользователям, научному сообществу, управленцам в области охраны окружающей среды и лицам, интересующимся экологией почв.

Ключевые слова. Экологический мониторинг, методы анализа почв, комплексный подход, оценка состояния почв, физико-химический анализ почв, биологическая активность почв, бактерии-нефтедеструкторы.

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач в области оценки состояния компонентов окружающей среды является разработка методик комплексного анализа того или иного объекта (Clements et al., 2021). При этом предлагается использовать сочетание биологических, химических и физико-химических методов (Noviks, 2015; Markert et. al., 2015). Поскольку применение совокупности подобных методов оказывается гораздо более эффективно, чем их раздельное использование. Имеются методы оценки «здоровья почвы» с использованием таких показателей как гранулометрический состав,

состояние растений, произрастающих на изучаемой территории, морфологические характеристики почвы содержание гумуса, pH, содержание макро- и микроэлементов и др. с привлечением математического моделирования (Stockdale, 2019; Несговорова и др., 2017)

Однако в подобных методиках, как правило, предпочтение отдаётся определению физико-химических свойств почвы, биологическим же методам анализа отводится несущественная роль. В то же время в экспериментах по биоиндикации и биотестированию недостаточно внимания уделяется физико-химическим параметрам почвы, которые создают фон для развития живых организмов (Kukushkin, 2011). Предлагаемая нами методика является попыткой объединить базовые методы диагностики состояния почв для сбалансированного их применения.

Нами предложена методика комплексной оценки экологического состояния почвогрунтов (далее – почв) урбозкосистем, которая была апробирована при изучении состояния почвенного покрова по профилю территории, испытывающей антропогенную нагрузку в районе Академгородка г. Иркутска в 2020-2021 гг.

Исследования почвенного покрова традиционно включают полевой и лабораторный этапы. В ходе полевых работ проводится описание пробных площадок, в котором отмечается местоположение станций, координаты, описывается растительность, степень обустроенности территории и источники антропогенного воздействия. Далее составляется морфологическое описание почв, включающее сведения о влажности, окраске, гранулометрическом составе, структуре, сложении (выражаемое через такие понятия как плотность и порозность), степени облия корневых систем растений, наличии новообразований и включений, отмечается присутствие карбонатов, которое определяется по вскипанию почвы от 10%-ной HCl (Щеглов и др., 2013).

Также определяются такие характеристики как температура, влагоёмкость, pH почвы, содержание O_2 и CO_2 . Нами при проведении полевых исследований данные характеристики определялись с использованием соответствующих датчиков Vernier и планшета регистрации данных «LabQuest 2», обработку данных производили с помощью программ «Logger Lite 6.1» и «MS Excel». На опытных площадках осуществляют отбор проб почвы методом конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. Для геоэкологической оценки состояния почв нами предлагается производить отбор образцов с глубин 0-5 см и 10-15 см либо только с глубины 0-10 см, поскольку именно поверхностные горизонты почв в большей степени подвержены непосредственному антропогенному воздействию.

Далее следует лабораторный этап работ, включающий определение физических, химических, физико-химических и биологических характеристик почв.

В лаборатории важно определить такой физический параметр как электропроводность почвы. Электропроводность почвы является важной характеристикой, которая соотносится с другими физическими, химическими и биологическими показателями. По литературным данным известно, что существует корреляция между величиной электропроводности и показателем ёмкости катионного обмена (ЕКО), который, в свою очередь, зависит от процента глины и органических веществ. С увеличением их содержания растёт и ЕКО. Кроме этого существует связь между пористостью почвы и электропроводностью: чем выше общая пористость почвы, тем лучше она проводит электричество. Также имеются данные о соответствии высоких значений электропроводности почвы высокой урожайности рассматриваемых территорий. Величина электропроводности почвы в большей мере коррелирует с урожайностью культур, чем содержание в ней отдельных элементов питания (К, Р, N, S), так как каждый из них вносит свой вклад в электропроводность (Сычев и др., 2007).

Среди химических показателей при исследовании почв особое внимание следует уделить определению окислительно-восстановительного потенциала (Eh), буферной ёмкости почв, концентрации различных анионов и катионов, тяжёлых металлов. Окислительно-восстановительный потенциал определяет способность почвы вступать в окислительно-восстановительные реакции, которые играют большую роль в почвообразовании и оказывают значительное влияние на плодородие и питательный режим почв. По величине Eh можно определить, какие процессы протекают в почве в данный момент. Например, при зарегистрированных нами в июне 2020 года в районе Академгородка г. Иркутска значениях Eh протекают следующие процессы: исчезновение O_2 (при уменьшении ОВП от 600 до 300), NO (при уменьшении ОВП от 500 до 300), восстановление Mn^{2+} (при уменьшении ОВП от 400 до 200), Fe^{3+} (при уменьшении ОВП от 300 до 100) (Марчик и др., 2006).

Буферная ёмкость почв, характеризующая буферность почвы, то есть её способность противостоять внешним воздействиям, отражает устойчивость почв при внесении удобрений, химических загрязнителей. Экспериментально данный показатель определяют по кислоте и щёлочи, затем строят кривые буферной ёмкости, располагая по оси абсцисс количество добавленной кислоты или основания, а по оси ординат значения pH. Чем выше значения буферной ёмкости, тем более устойчива почва к различного рода воздействиям (Гусакова, 2016).

Анионно-катионный состав почв характеризует экологическое состояние местности, степень обеспеченности растений элементами минерального питания, а также может указывать на наличие загрязнений. Нами предлагается определение, прежде всего, концентраций аммония, хлора, калия, фосфатов и нитратов. Поскольку азот, хлор, калий и фосфор являются важнейшими элементами питания, влияют на рост и развитие растений, избыточное содержание данных элементов негативно влияет на живые организмы (Добровольский, 1998).

Оценка валового содержания тяжёлых металлов (ТМ) и концентрации подвижных форм ТМ позволит определить естественный региональный геохимический фон, на который накладывается антропогенное загрязнение (Опекунова, 2013). Определение валового содержания ТМ и концентрации подвижных форм в вытяжке ацетатно-аммонийным буфером (рН = 4,8, именно для неё в настоящее время разработаны ПДК металлов в почвах) возможно с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой в соответствии с Р.Д. 52.18.191 - 89(6) и ГОСТ Р 55845-2013.

Важнейшую роль играет биодиагностика состояния почв. Приоритетными биологическими методами оценки состояния почвенного покрова являются определение процентного содержания гумуса, фитотоксичности и биологической активности почвы (выражаемой через различные виды ферментативной активности почвы), способности микробиоты к нефтедеструкции, количественного анализа присутствия бактерий рода *Azotobacter* в исследуемых образцах почвы.

Процентное содержание гумуса в почве является показателем потенциального плодородия и степени активности всех биологических процессов. Гумус играет важную роль в формировании профиля почвы и в процессах почвообразования, влияет на физические и химические свойства почв. Почвы, богатые гумусом, характеризуются большей поглощательной способностью, лучшими водными и физическими свойствами. Обеспеченность почв гумусом связана со степенью биологической активности почвы. В гумусе содержатся основные элементы питания растений (Добровольский и др., 2012). Для определения содержания гумуса достоверным и удобным представляется спектрофотометрический метод Орлова-Гринделя (Орлов и др., 2015). В начале эксперимента навеску почвы 0,3 г вносят в колбы, заливая 20 мл 0,4 н. бихромата калия. Затем перемешивают содержимое колбы, кипятят на электроплитке в течение 5 минут, после чего охлаждают смесь, переносят в мерный цилиндр, ополаскивая колбу дистиллированной водой, и доводя объём до 100 мл, добавляя воду. Цилиндр закрывают пробкой и оставляют при комнатной температуре на 12 – 18 часов. После этого прозрачный, отстоявшийся раствор осторожно (не взмучивая

осадка) сливают в кювету спектрофотометра длиной 5 см и измеряют оптическую плотность раствора на спектрофотометре при длине волны 590 нм. Полученные результаты сравнивают со значениями оптической плотности раствора бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) концентрации 1:4. Устанавливают «нуль» приборов по холостому раствору бихромата калия. Для расчета содержания углерода (%) используют формулу: $C, \% = 0,86 D/m$; где D – оптическая плотность; m – вес навески почвы в г. Далее рассчитывают процентное содержание гумуса в почве, умножая значения процентного содержания углерода на коэффициент Вольфа, равный 1,724.

Фитотоксичность почвы отражает реакцию растений как важнейших звеньев биогеоценозов на взаимодействие с исследуемой почвенной средой. Фитотоксичность определяется при выращивании тест-объектов (например, пшеница и кресс-салат) в контролируемых условиях. Анализируют всхожесть (%), вес проростков (г), длину надземной и подземной частей растений (см).

Биологическая активность почв (БАП) является интегральным показателем состояния среды, поскольку данная характеристика напрямую связана с составом и численностью микроорганизмов, осуществляющих трансформацию химических веществ и формирование гумусового слоя, что определяет плодородие и экологическое состояние почвы (Добровольский, 2012).

Нами предлагается анализировать БАП по результатам оценки целлюлозолитической, протеазной и уреазной активности, поскольку это даёт возможность составить комплексную картину активности почвенных микроорганизмов исследуемых территорий. Целлюлозолитическая активность (ЦА) определяет плодородие и уровень биогенности почвы, отражает скорость разложения клетчатки целлюлозоразрушающими микроорганизмами. Для определения ЦА оптимально применять аппликационный метод (Дорохова и др., 2008).

В навеску почвы массой 100 г помещают тонкую льняную ткань размером 5x5 см, предварительно взвешенную на аналитических весах. Почву смачивают водопроводной водой до 60% полной влагоёмкости. Контейнеры с почвой и тканью взвешивают и оставляют культивироваться на 30 суток при температуре 26°C. Влажность почвы поддерживают на постоянном уровне. По истечении 30 осторожно извлекают полотно, отмывают его от почвы и продуктов разложения, высушивают в тени и взвешивали. По убыли в весе оценивают интенсивность процесса разрушения клетчатки. Для оценки БАП по интенсивности разрушения клетчатки применяется шкала Д.Г. Звягинцева, (% разложившегося полотна): очень слабая < 10 %, слабая -

10-30 %, средняя - 30-50 %, сильная - 50-80 %, очень сильная > 80 % (Звягинцев, 1991).

Ферменты протеазы в почве обуславливают динамику азота, который в доступной форме выделяется при последовательном расщеплении белковых веществ. Протеазы участвуют в активации этого процесса. Метод определения протеазной активности основан на микробиологическом расщеплении желатины, имеющейся в эмульсионном слое фотобумаги. Для этого в навеску почвы 50 г, увлажнённую до 60% полной влагоёмкости водопроводной водой, помещают фотобумагу. Опытный образец культивируют 4 суток, при этом каждый день вынимают фотобумагу, промывают её под слабой струёй воды и высушивают в тени на воздухе. Результат оценивают визуально: чем сильнее разжижение желатинового слоя, тем выше протеазная активность почвы: такие зоны приобретают темную окраску (Мирчинк, 1988).

Уреазная активность почв характеризует способность почвы к естественной биоремедиации, устойчивости к ингибирующим факторам окружающей среды. Активность уреазы выше у плодородных почв (Емцев и др., 2005).

Для лабораторного определения зарекомендовал себя экспресс-метод Т.В. Аристовской, М.В. Чугуновой, который подразумевает добавление в ёмкости с почвой 1 г мочевины ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), растворённой в небольшом количестве воды, на 100 г почвы. Затем на внутреннюю сторону крышки контейнера с почвой прикрепляют пропитанную водой полоску универсального индикатора рН 0 – 12. Контролем служит образец с растворённой в воде мочевиной без внесения почвы. Активности уреазы оценивают визуально – по изменению цвета индикатора в процессе эксперимента с жёлтого на зелёный (до тёмно-синего), т.к. происходит разложение мочевины с образованием нестойкой углеаммиачной соли $((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)$, распадающейся на аммиак и углекислоту, в результате чего воздух над почвой насыщается парами и приобретает щелочную реакцию (Аристовская и др., 1989; Забелина, 2014). В течение 24 часов наблюдают за изменением цвета индикатора, при этом фиксируют время и записывают изменения цвета в лабораторный журнал. Таким образом, о высокой уреазной активности почвы свидетельствует высокая скорость увеличения щелочности воздуха в пробе (изменения цвета индикатора) и более тёмный цвет полоски индикатора. Для анализа результатов эксперимента удобно использовать следующую шкалу цветов (рис. 1, в направлении от наиболее слабой уреазной активности почвы к наиболее сильной):

- жёлтый
- жёлтый, с небольшим позеленением

- бледно-зелёный
- светло-зелёный
- зелёный
- темно-зелёный
- светло-синий, лазурные пятна
- синий
- тёмно-синий
- насыщенный синий



Рис. 1. Изменение цвета индикатора при определении уреазной активности почвы (слева направо уреазная активность увеличивается, составлен авторами)

Для урбэкоосистем перспективным представляется определение уреазной активности почвы при внесении нефти. Сохранение или повышение БАП в образцах с нефтью по сравнению с пробами, в которых отсутствует загрязнение может говорить о высокой БАП и значительном биоремедиационном потенциале, способности почвы к самовосстановлению, что косвенно свидетельствует об устойчивости экосистемы исследуемой территории.

Для проведения эксперимента берут навеску почвы 100 г, увлажняют её до 60% полной влагоёмкости водопроводной водой, далее добавляют нефть в концентрации 3% от веса почвы. В качестве контроля используют прокалённый песок с добавлением нефти или нефть без добавления почвы/песка. Затем добавляют в ёмкости по 1 г растворённой в воде мочевины (на 100 г почвы). Полоску универсального индикатора рН 0-12 пропитывают водой и помещают на внутреннюю сторону крышки контейнера, далее наблюдают за изменением цвета индикатора при температуре 26°C в течение 3 суток. Для интерпретации результатов эксперимента используют шкалу цветов, интенсивность изменения цвета представлена на рис. 1.

Кроме описанного метода полезно определить способность микробиоты к нефтедеструкции, поскольку на данный момент нефтепродукты являются одними из основных загрязнителей окружающей среды, особенно в условиях городской среды. Убыль нефти в модельном эксперименте может свидетельствовать о присутствии в почве бактерий-нефтедеструкторов и способности почвенной микробиоты к выполнению биоремедиационных функций. Биоремедиация является хорошим примером биотехнологий,

позволяющих сохранять баланс биосферы, не выходя за пределы ёмкости среды (Никулина, 2019).

Для изучения устойчивости микробиоты почвы к антропогенным факторам, её способности к деструкции нефти и нефтепродуктов целесообразно провести следующее исследование: в 100 г почвы, увлажнённой до 60% полной влагоёмкости, добавляют нефть в концентрации 3% (могут быть использованы иные концентрации нефти, например, 5 и 10%). Ёмкости с почвой взвешивают на аналитических весах, затем культивируют 60 суток при температуре 26°C, периодически (раз в 7 дней) увлажняя почву и взвешивая контейнеры. Через 60 суток необходимо экстрагировать нефть из почвы, для этого берут навеску почвы 10 г, заливают 20 мл гексана (C₆H₁₄) в колбе, встряхивают для перемешивания, фильтруют через фильтр белая лента. Экстрагирование производят до тех пор, пока раствор не станет прозрачным. Колбы с экстрагированной нефтью необходимо высушить под вытяжкой, а затем взвесить на аналитических весах, после чего рассчитывают убыль нефти в процентах относительно исходного содержания нефти в опытных образцах.

Бактерии рода *Azotobacter* не только играют важную роль в круговороте азота в природе, связывая недоступный растениям атмосферный азот и выделяя связанный азот в виде ионов аммония в почву, но и являются детоксикантом и нефтедеструктором, тем самым способствуя естественному восстановлению почв (Рубенчик, 1972).

Для выявления микроорганизмов рода *Azotobacter* в исследуемых образцах почв и определения его относительного содержания используют метод обростания почвенных комочков (Емцев и др., 2005).

Безусловно, проведение комплексного анализа состояния почв городских территорий требует довольно длительного времени, что обусловлено большим количеством исследований, а также продолжительностью пробоподготовки и длительным периодом экспозиции при проведении отдельных экспериментов. После проведения полевых исследований и отбора проб почв предлагается 4 блока лабораторных работ, которые при осуществлении в перечисленном порядке позволяют постепенно расширять представления об экологическом состоянии почв, степени их нарушенности и устойчивости к антропогенному воздействию. При этом предлагается комбинировать использование физических, химических, физико-химических и биологических методов исследования.

Первый блок включает определение содержание отдельных катионов и анионов в почвенной вытяжке (например, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻), а также тяжёлых металлов. Далее определяется биологическая активность почвы, характеризующаяся уреазной,

целлюлазной и протеазной активностями почвы. Таким образом будут получены данные о загрязнении почвы тяжелыми металлами и биогенными элементами; а также о реакции почвенной биоты на данный уровень загрязнения почв.

Во втором блоке предлагается определение электропроводности и буферной ёмкости почвы, а также содержания гумуса и фитотоксичности почв.

Третий блок состоит из таких микробиологических характеристик как общее количество колониеобразующих единиц микроорганизмов и количественный состав бактерий рода *Azotobacter* в опытных образцах. Важной диагностической характеристикой также является окислительно-восстановительный потенциал.

Четвёртый блок позволяет максимально дополнить картину исследований и установить такие нюансы исследуемых почв как способность микробиоты к нефтедеструкции. Это может быть установлено при непосредственном изучении убыли нефти в модельном эксперименте, а также при изучении уреазной активности почвы в почве, загрязнённой нефтью.

Таким образом, систематизация материалов и методов исследований экологического состояния почв позволила разработать методику комплексного анализа почв и почвогрунтов в пределах городской среды. Методика апробирована при изучении состояния почв городской среды по профилю с различной степенью антропогенной нагрузки, показана перспективность её применения и дальнейшей разработки. Особую ценность представляет одновременное применение физико-химических и биологических методов. Предлагаемая методика может быть адаптирована и применена в различных эдафо-климатических условиях для диагностики и оценки состояния почв, в том числе в условиях урбанизированных территорий.

Библиографический список

1. Аристовская Т.В., Чугунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142-147.
4. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 413 с.
5. Дорохова М.Ф., Исаченкова Л.Б. Биологическая активность почв территории научно-учебной станции МГУ «Сатино» // Вестн. Моск. Унта. Сер. 5. География. 2008. №6. с. 34-38.
2. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2005. 445 с.

2. Забелина О.Н. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира): Дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Владимир, 2014. 147 с.
3. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Общие физические и физико-механические свойства почвы // *Общее почвоведение*. 2006. 5 с.
12. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во Московского гос. ун-та, 1991. 304 с.
13. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология. М.: Изд-во МГУ, 1988. 219 с.: ил.
14. Никулина А.Р., Сачкова Е.Д., Бубнова Л.В. Биодиагностика и корреляционный анализ параметров, отражающих экологическое состояние почв с различной степенью антропогенной нагрузки. // *Молодая наука Сибири*. 2020. № 4(10). С. 273-280.
15. Никулина А.Р., Сачкова Е.Д., Бубнова Л.В. Определение биологической активности почв в целях поддержания равновесия урбоэкосистемы. // *Известия Байкальского государственного университета*. 2020. Т. 30, № 4. С. 586-592.
16. Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации: автореф. дисс. ... доктора геогр. наук. СПб, 2013. 36 с.
17. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв: Учебник. М.: Высш. шк., 2015. 558с.: ил.
18. Рубенчик Л.И. Микроорганизмы – биологические индикаторы. Киев.: Изд-во «Наукова Думка», 1972. 165 с.
19. Clements H., Esler K., Henry D. A. W., Mograbi P., Norström A., Reynolds C. Ecological field data collection // *The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems*. 2021. P. 95-106.
20. Kukushkin S. Modern approaches to the assessment of the anthropogenic load on the environment. St. Petersburg, 2011. 62 p.
21. Markert B., Wünschmann S., Baltrenaite E. Innovative observation of the environment bioindicators and biomonitors: definitions, strategies and applications // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2012. Vol. 20 (3). P. 221-239.
22. Noviks G. System Analysis in the Environmental Science // *Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. 2015. P.120-129.
23. Stockdale L. Testing the soil health scorecard (On-farm soil monitoring 2018–2019) // *Agricology*. 2019. P.20-22.

© Сачкова Е.Д., Никулина А.Р., Бубнова Л.В., 2021