

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ

Несмотря на то, что большинство крупных промышленных предприятий в Омске выполняют требования природоохранного законодательства, в городе остро стоит проблема загрязнения атмосферного воздуха. Расширение сети постов наблюдения за загрязнением атмосферы позволяет повысить качество определения фонового загрязнения, однако не способно дать ответ на вопрос о том, кто виноват в сверхнормативном загрязнении воздуха. В статье представлена разработка, направленная на совершенствование существующей системы мониторинга, которая позволяет, с одной стороны, определять уровень загрязнения в любой точке местности, а с другой — оперативно реагировать на жалобы населения о нарушении качества атмосферного воздуха и выявлять источники сверхнормативного выброса в городе.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, мониторинг атмосферы, поиск источника загрязнения, сверхнормативный выброс, локализация источника загрязнения.

Проблема загрязнения атмосферного воздуха наиболее остро выражена в крупных промышленных центрах, к которым относится и город Омск. Мониторинг загрязнения атмосферы в Омске осуществляется на 11 постах наблюдения, три из которых работают в автоматическом режиме. При этом в последние несколько лет в городе достаточно часто фиксируются превышения норм предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосфере, но выезд передвижной экологической лаборатории к месту жалобы и попытки определить виновника загрязнения в большинстве случаев не дают результата — источник сверхнормативного выброса остается ненайденным. Можно выделить следующие причины превышения норм ПДК в атмосферном воздухе, при которых в настоящее время невозможно определить источник сверхнормативного выброса.

Во-первых, это некорректное определение нормативов допустимых выбросов (НДВ) для предприятия. Так, считается, что выброс какого-либо загрязняющего вещества не приведет к нарушению качества атмосферного воздуха в случае, если будет выполняться условие:

$$q_{\text{ист}} + q_{\text{ф}} \leq 1, \quad (1)$$

где $q_{\text{ист}}$ — концентрация вещества, создаваемая источниками загрязнения предприятия, доли ПДК; $q_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация в районе расположения предприятия, определяемая на постах наблюде-

ния Росгидромета, доли ПДК. Для веществ, наблюдения за которыми не осуществляется на постах Росгидромета, $q_{\text{ф}}$ в формуле (1) принимается равной нулю.

Таким образом, если величина $q_{\text{ф}}$ в формуле (1) будет ниже, чем реально существующая в районе концентрация вещества, то это позволит установить для предприятия завышенный НДВ, что, в свою очередь, приведет к ситуации, когда предприятие работает строго в рамках норматива, в органы власти регулярно поступают жалобы на качество атмосферного воздуха, однако посты наблюдения не фиксируют превышений ПДК, а виновник нарушения отсутствует даже после подтверждения нарушения путём отбора проб в месте жалобы. Подобная ситуация наглядно продемонстрирована на рис. 1. На рисунке показан пример расчета рассеивания сероводорода, содержащегося в выбросах предприятий северо-западного промышленного узла г. Омска при восточном направлении ветра. При таком направлении ветра ни один существующий пост наблюдения не зафиксирует превышений ПДК в жилой зоне, и при этом все предприятия будут работать в рамках установленных НДВ, так как изначально при установлении НДВ с постов наблюдения были получены явно заниженные значения $q_{\text{ф}}$, создаваемые при восточном направлении ветра.

Во-вторых, не исключена вероятность конкретного нарушения предприятием установленных НДВ. При этом поиск виновника сверхнормативного выброса затрудняется тем, что на ограниченной

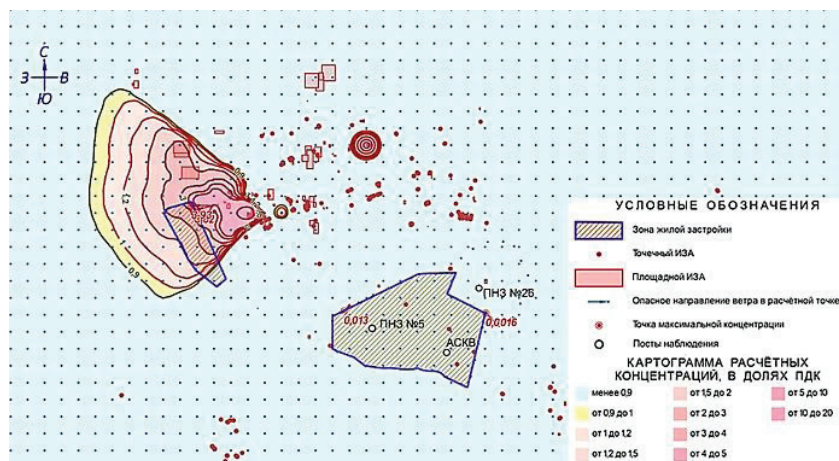


Рис. 1. Результаты расчетов рассеивания по сероводороду

территории могут располагаться десятки предприятий с сотнями источников загрязнения, выбрасывающих «проблемное» вещество, и выделить из всего этого массива один или несколько источников, являющихся нарушителями, имея при этом данные по концентрации всего в одной точке местности, на данный момент невозможно.

Учитывая, что мониторинг абсолютно всех выбрасываемых веществ в настоящее время невозможен по ряду объективных причин, на сегодняшний день предполагается следующее решение проблемы повышения точности определения фоновых концентраций: во-первых, расширение сети мониторинга в городах и, во-вторых, проведение сводных расчетов загрязнения атмосферы с целью получения расчетных значений фона по неконтролируемым на постах веществам. При этом остается открытым вопрос о местах размещения новых постов наблюдения. Однако расширение сети постов Росгидромета не решает проблемы поиска источника сверхнормативного выброса. Это, возможно, позволит органам государственной власти более точно и своевременно фиксировать нарушения, а также корректнее определять значения фоновых концентраций, но не выявлять конкретные источники с превышенными значениями НДВ.

Ряд авторов [1, 2] для решения проблемы идентификации источника сверхнормативного выброса предлагают использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с установленными на них датчиками. По получаемым данным о концентрациях загрязняющего вещества предполагается выстраивание маршрута БЛА до источника выброса. Наряду с этим разрабатывается и активно используется метод Finger Print [3]. Метод основан на идентификации источника загрязнения по компонентному составу выбросов.

Исходя из вышеизложенного, целью нашей работы является совершенствование существующей системы мониторинга в г. Омске и разработка метода локализации источника выбросов, допустившего сверхнормативный или аварийный выброс.

В качестве совершенствования существующей сети мониторинга предлагается разработка программного комплекса, позволяющего совмещать результаты расчетного и инструментального мониторинга и проводить оперативную локализацию источника сверхнормативного загрязнения атмосферного воздуха.

Разрабатываемый программный комплекс состоит из следующих подсистем:

1. Подсистема сбора, обработки и анализа информации о загрязнении атмосферного воздуха.
2. Подсистема локализации и идентификации источника сверхнормативного выброса.

Рассмотрим каждую из подсистем подробнее.

1. *Подсистема сбора, обработки и анализа информации о загрязнении атмосферного воздуха.*

Очевидно, что долгосрочное планирование развития сети мониторинга, а также проведение контрольно-надзорных мероприятий, связанных со сверхнормативным загрязнением окружающей среды, невозможно без наличия объективной информации о загрязнении атмосферы в населенном пункте как в текущий момент времени, так и в перспективе.

Согласно [4, 5], посты наблюдения размещаются, в первую очередь, в наиболее загрязненных местах в жилой зоне города, однако оценить расположение наиболее загрязненных территорий в городе, основываясь исключительно на информации о загрязнении, поступающей с 11 постов наблюдения, в городе-миллионнике фактически невозможно. Так, авторами [6] предлагается методическое обоснование выбора мест установления постов наблюдения на основе расчетов показателей опасности и рисков для населения и выбор программы наблюдений за концентрациями примесей в атмосфере. Мы предлагаем подход к оценке уровня загрязнения атмосферы в городе, позволяющий, с одной стороны, объективно оценивать необходимость установки нового поста в конкретной части города, а с другой стороны — использовать полученную информацию о загрязнении атмосферы при поиске источника сверхнормативного выброса.

Для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха в городе карта города покрывается регулярной расчетной сеткой (рис. 2). Шаг сетки принят 1000×1000 м для оптимизации работы всего программного комплекса. Каждый квадрат характеризуется своим уровнем загрязнения по каждому загрязняющему веществу. Загрязнение в квадратах с расположенными в них постами характеризуется уровнями загрязнения, получаемыми с этих постов (рис. 3).

Квадраты, в которых отсутствуют посты наблюдения разбиваются дополнительно сеткой 10×10 м, в узловых точках которых рассчитываются значения концентраций по каждому загрязняющему веществу, создаваемые источниками выбросов, при различных сочетаниях метеорологических условий: при каждом из направлений ветра (по 16 румбам),

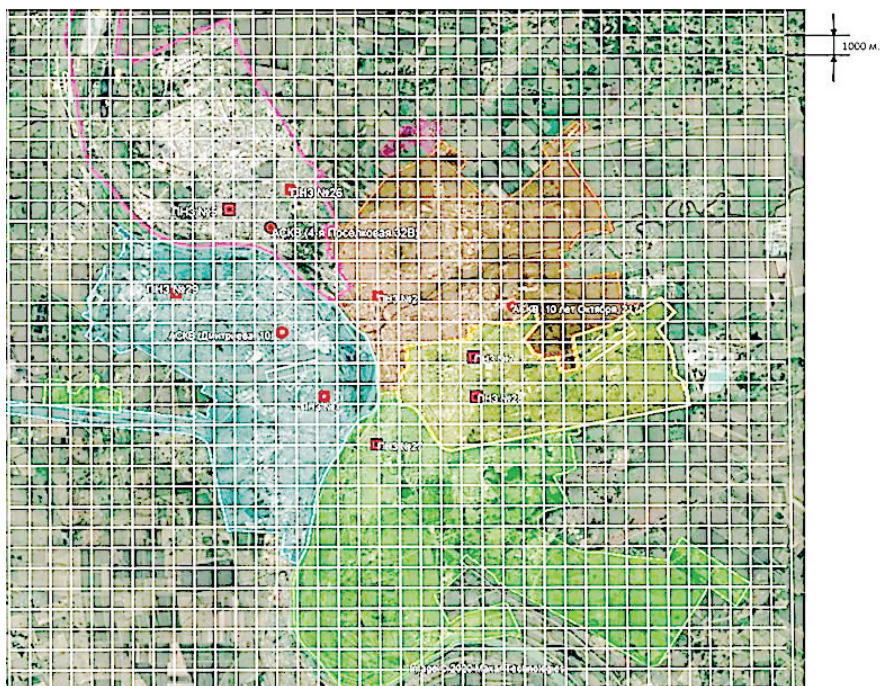


Рис. 2. Расчетная регулярная сетка на примере г. Омска



Рис. 3. Расположение постов наблюдения в квадратах регулярной сетки

скорости ветра от 1 до 10 м/с и различных температурах.

По полученным результатам расчёта концентраций определяются расчетные фоновые концентрации в соответствии с [7] по формуле:

$$C_{\phi} = q_{cp} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+V^2}} \cdot \exp(1,65 \cdot \sqrt{\ln(1+V^2)}), \quad (2)$$

где q_{cp} — средняя концентрация во всех расчетных точках рассматриваемого квадрата, рассчитывается по формуле:

$$q_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{n}, \quad (3)$$

где n — количество разовых концентраций ($n \geq 300$), q_j — концентрации по j -ому загрязняющему веще-

ству; V — коэффициент вариации концентраций, рассчитываемый по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{q_{cp}}, \quad (4)$$

где σ — среднеквадратичное отклонение ряда концентраций.

Полученные значения фоновой концентрации по каждому загрязняющему веществу характеризуют рассматриваемый квадрат, и в зависимости от этого квадрат окрашивается в соответствующий цвет: от светло-зеленого при концентрации менее 1 ПДК до темно-красного для квадратов с концентрацией загрязняющего вещества выше 1 ПДК (рис. 4).

Также по мере поступления информации от передвижной лаборатории планируется дополнение и замещение расчетных концентраций измеренны-

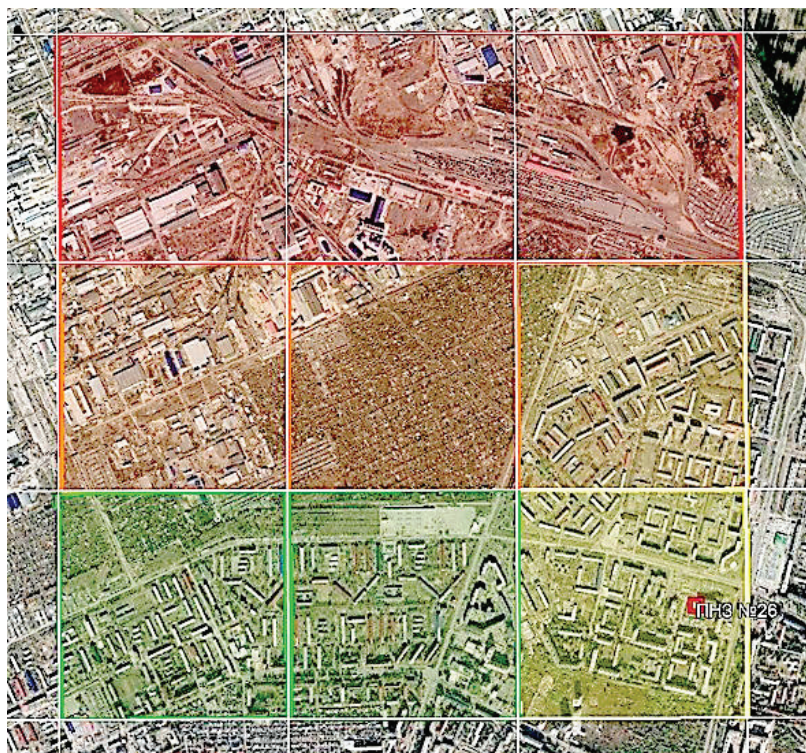


Рис. 4. Пример карты уровня загрязнения атмосферного воздуха

ми, что послужит постепенному обновлению набора данных и получению наиболее точного значения концентраций веществ в конкретном квадрате. В зависимости от уровня загрязнения в квадрате делается вывод о возможном размещении в нем нового поста наблюдения, также эта информация используется в дальнейшем для поиска и локализации источника сверхнормативного выброса.

2. Подсистема локализации и идентификации источника сверхнормативного выброса.

2.1. Предварительная оценка.

Для поиска и локализации предприятия и источника, в случае фиксации превышения допустимой концентрации, в работе использованы данные Реестра объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду (ОНВОС), содержащего информацию о предприятиях, а также о расположении и параметрах источников выбросов загрязняющих веществ. На сегодняшний день в Реестре ОНВОС зарегистрировано около 1500 промышленных объектов г. Омска, на балансе которых числится более 7000 источников загрязнения атмосферного воздуха и выбрасывающих в совокупности около 400 загрязняющих веществ [8]. Основной существующей проблемой поиска источника, допустившего сверхнормативный выброс, является тот факт, что надзорные органы определяют круг возможных причастных предприятий исходя из зафиксированного превышения лишь по одному-двум загрязняющим веществам. Однако следует учитывать превышение по одному веществу сопряжено с ростом других поллютантов, выбрасываемых источником.

Одним из дополнений программного комплекса является программа, включающая сведения расчетных методик выбросов загрязняющих веществ от различных видов технологических процессов. Так, например, выбросы фенола образуются в литейном производстве, при деревообработке или при работе очистных сооружений нефтепере-

рабатывающих комплексов. Потому для полной объективности следует учитывать также превышения концентраций прочих загрязняющих веществ относительно рассчитанной фоновой концентрации.

В случае если измеренное значение концентрации превышает расчетный фон на 10 % и более, то вещество включается в дальнейший поиск источника загрязнения. По сочетанию примесей определяется техпроцесс и из Реестра ОНВОС выбираются соответствующие источники выбросов. Это позволит существенно сократить количество источников, подпадающих под подозрение сверхнормативного выброса.

2.2. Локализация источника.

После проведения предварительной оценки вероятного источника проводится анализ метеорологических условий (скорость и направление ветра). В результате исключаются источники с подветренной стороны, т.е. выбросы которых не вносят вклад в зафиксированную концентрацию.

На следующем этапе для каждого выявленного источника рассчитывается такая масса выброса, при которой, с учетом фонового загрязнения, возможно создание зарегистрированного превышения концентрации.

В зависимости от параметров, характеризующих свойства источника выбросов, в соответствии с [9] мощность выброса источника рассчитывается по одной из формул:

для холодных выбросов

$$M = \frac{H^4 \cdot C}{A \cdot F \cdot n \cdot \eta \cdot K}; \quad (5)$$

для перегретых выбросов

$$M = \frac{H^7 \cdot C}{A \cdot F \cdot m' \cdot \eta}; \quad (6)$$

где H — высота источника загрязнения, A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; C — значение максимальной концентрации, создаваемой источником; η — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности; m' и n — коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; K — вспомогательный коэффициент расчета при холодных выбросах [9].

Каждый зарегистрированный в Реестре ОНВОС источник имеет свой НДС. Исходя из этого и имея данные о рассчитанной необходимой мощности выброса, для каждого источника определяется кратность превышения предельно допустимого выброса по формуле:

$$N_i = \frac{M}{M_{\text{ПДВ}i}}, \quad (7)$$

где N_i — кратность превышения ПДВ, M — рассчитанная масса выброса по формуле (5) или (6), $M_{\text{ПДВ}i}$ — установленный норматив выброса источника (ПДВ).

Таким образом, можно сделать предположение: чем меньше значение кратности превышения, тем больше вероятность причастности источника к зафиксированному нарушению, т.е. источник сверхнормативного выброса определяется как:

$$I = \min(N_i), \quad (8)$$

где I — порядковый номер источника загрязнения.

Более подробно о проведении предварительной оценки и локализации источника сверхнормативного или аварийного выброса представлено в работе авторов [10].

Таким образом, при поступлении информации о нарушении качества атмосферного воздуха локализация источника сверхнормативного загрязнения сводится к нескольким шагам:

1. Выезд передвижной лаборатории на место поступления информации для проведения отбора пробы воздуха.

2. Данные передвижной лаборатории сравниваются с расчетными уровнями концентраций в исследуемом квадрате и выявляются вещества, по которым наблюдается увеличение значений концентраций. Эти вещества включаются в анализ как сопутствующие основному загрязнителю.

3. По выявленным веществам определяются соответствующие техпроцессы и источники выбросов.

4. По данным о направлении ветра из дальнейшего анализа исключаются источники выбросов, находящиеся с подветренной стороны.

5. Для удовлетворяющих условиям поиска источников выбросов рассчитывается необходимая масса выброса для создания им с учетом фонового загрязнения измеренной концентрации.

6. Рассчитываются кратности превышения выбросов, как отношение рассчитанной в п. 5 массы выброса к установленному нормативу (ПДВ). В зависимости от кратности превышения допустимого выброса делается вывод о причастности источника к сверхнормативному загрязнению.

7. Определяются дополнительные точки, по результатам отбора пробы воздуха в которых возможно подтверждение причастности источника загрязнения к нарушению.

Разработанный программный комплекс за несколько минут осуществляет работу с п. 2 по п. 7, что позволяет оперативно производить поиск источника сверхнормативного выброса.

Выводы. Разработанный метод локализации источников сверхнормативного или аварийного выброса позволит контрольно-надзорным органам власти осуществлять природоохранные мероприятия наиболее эффективно. Программный продукт, реализующий представленный метод, способен дополнить существующую систему мониторинга, значительно ускорить поиск источников при обнаружении нарушений качества атмосферного воздуха. Также «тепловая» карта загрязнения может быть использована для обоснования размещения дополнительных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха.

Библиографический список

1. Шапова Л. В. Автоматизированная система поиска источника загрязнения атмосферы // Информационные технологии и автоматизация управления: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. С. 173–178.
2. Fu Z., Chen Y., Ding Y. [et al.]. Pollution Source Localization Based on Multi-UAV Cooperative Communication // IEEE Access. 2019. Vol. 7. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2900475.
3. Uchimiya M., Arai M., Masunaga S. Fingerprinting Localized Dioxin Contamination: Ichihara Anchorage Case // Environment Science & Technology. 2007. Vol. 41 (11). P. 3864–3870. DOI: 10.1021/es062998p.
4. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Введ. 1991–07–01. М., 1991. 693 с.
5. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Введ. 1987–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 4 с.
6. Зайцева Н. В., Май И. В., Клейн С. В., Горяев Д. В. Методические подходы к выбору точек и программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха в рамках социально-гигиенического мониторинга для задач федерального проекта «Чистый воздух» // Анализ риска здоровью. 2019. № 3. С. 4–17. DOI: 10.21668/health.risk/2019.3.01.
7. РД 52.04.667-2005. Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию. Введ. 2006–02–01. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 50 с.
8. Реестр объектов негативного воздействия на окружающую среду. URL: <https://onv.fsrpn.ru/#/login?url=%2Fpublic%2Fregistry%2Ffederal%2Flist> (дата обращения: 20.02.2020).
9. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_222765 (дата обращения: 20.05.2019).
10. Штриплинг Л. О., Баженов В. В., Калинин Ю. В., Баженова Н. С., Меркулов В. В. Метод предварительной локализации источника сверхнормативного загрязнения атмосферного воздуха как способ повышения эффективности экологического мониторинга и надзора в России // Омский научный вестник. 2019. № 3 (165). С. 72–77. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-165-72-77.

ШТРИПЛИНГ Лев Оттович, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Промышленная экология и безопасность», проректор по учебно-методической работе.
SPIN-код: 9285-8565

AuthorID (РИНЦ): 157285
ORCID: 0000-0002-2622-9108
AuthorID (SCOPUS): 56504001800

ResearcherID: T-8953-2018
Адрес для переписки: los@omgtu.ru

БАЖЕНОВ Владислав Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность».

SPIN-код: 9288-9566

AuthorID (РИНЦ): 646727

ORCID: 0000-0003-3749-166X

AuthorID (SCOPUS): 56503305700

ResearcherID: M-6511-2018

Адрес для переписки: bvv36@yandex.ru

БАЖЕНОВА Наталья Сергеевна, аспирант, ассистент кафедры «Промышленная экология и безопасность».

SPIN-код: 7666-3205

ORCID: 0000-0002-0983-746X

AuthorID (SCOPUS): 57200725159

ResearcherID: M-6532-2018

Адрес для переписки: n.s.v91@mail.ru

НОР Полина Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность».

SPIN-код: 4360-5095

ORCID: 0000-0001-7539-7610

AuthorID (SCOPUS): 55935981600

ResearcherID: D-7194-2014

Адрес для переписки: miss.nor@mail.ru

Для цитирования

Штриплинг Л. О., Баженов В. В., Баженова Н. С., Нор П. Е. Совершенствование системы мониторинга атмосферного воздуха в населенном пункте // Омский научный вестник. 2020. № 3 (171). С. 80–85. DOI: 10.25206/1813-8225-2020-171-80-85.

Статья поступила в редакцию 16.04.2020 г.

© Л. О. Штриплинг, В. В. Баженов, Н. С. Баженова, П. Е. Нор