

Научная статья

Original article

УДК 551.435:502.55:528

doi: 10.55186/2413046X_2022_7_11_688

**ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЯ ГУСТОТЫ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ
ТЕРРИТОРИИ ВОДООХРАННЫХ ЗОН ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО
МАТЕРИАЛАМ АЭРОСЪЁМКИ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ
АППАРАТОМ
ASSESSING DENSITY SIGNIFICANCE OF AREA EROSION NETWORK
IN WATER PROTECTION ZONES OF WATER BODIES BASED ON
ARIAL SURVEY MATERIALS BY PILOTLESS AIRCRAFTS**



Скрипка Григорий Иванович, канд. геол.-минерал. наук, заведующий отделом создания систем управления водными ресурсами с элементами искусственного интеллекта ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных объектов», E-mail: skripka-grisha@yandex.ru

Сердюк Лариса Владимировна, канд. геогр. наук, главный специалист отдела создания систем управления водными ресурсами с элементами искусственного интеллекта ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных объектов», E-mail: larisa-kropyanko@yandex.ru

Сапрыгин Владислав Валерьевич, канд. геогр. наук, главный специалист отдела создания систем управления водными ресурсами с элементами искусственного интеллекта ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных объектов», E-mail: vlad_rostov@inbox.ru

Skripka Grigoriy Ivanovich, Cand. Sc (Geol.-Mineral.), Head of Creating Systems for Water Resources Management with Elements of Artificial Intelligence Dept., « FGBI Russian Research Institute of Multipurpose Use and Conservation of water Bodies», E-mail: skripka-grisha@yandex.ru

Serdyuk Larisa Vladimirovna, Cand Sc., (Geogr.), Principal Expert of Creating Systems for Water Resources Management with Elements of Artificial Intelligence Dept., « FGBI Russian Research Institute of Multipurpose Use and Conservation of water Bodies», E-mail: larisa-kropyanko@yandex.ru

Saprygin Vladislav Valerievich, Cand Sc., (Geogr.), Principal Expert of Creating Systems for Water Resources Management with Elements of Artificial Intelligence Dept., « FGBI Russian Research Institute of Multipurpose Use and Conservation of water Bodies», E-mail: vlad_rostov@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность.* Эрозионный рельеф водоохранной зоны водного объекта, тенденции его изменения в значительной мере определяют состояние безопасности расположенных здесь объектов и возможность использования этой зоны в хозяйственных и иных целях. Картографические материалы в большинстве случаев не могут дать достоверного ответа на данные вопросы, поскольку фиксируют ситуацию только на момент их составления, и даже на крупномасштабных картах мелкие формы рельефа не отражены. По объективным причинам не содержат полной информации и отчёты о регулярных наземных обследованиях, выполняемых в рамках государственного мониторинга структурами, подведомственными Росводресурсам.

Методы. Использование материалов дистанционного обследования водоохранных зон с применением беспилотных летательных аппаратов позволяет получить актуальную информацию о густоте эрозионной сети и тенденциях её изменения. Основным условием, регламентирующим возможность использования материалов аэросъёмки для указанных целей, является открытость поверхности территории для аэробнаблюдения.

Результаты. Описана методика использования материалов аэросъёмки беспилотными летательными аппаратами территории водоохранных зон водных объектов для получения достоверной актуальной информации об эрозионной расчленённости её поверхности и определения морфометрических параметров практически всех, даже наиболее мелких отрицательных форм рельефа.

Abstract. *Urgency.* Erosion relief of the water protection zone for a water body, tendencies of its changes determine to a great extent safety of situated here facilities and opportunity of using this zone for economic and other purposes. In most cases, mapping materials cannot supply a reliable response on these questions, because they fix the situation only for the moment of their making and small forms of the relief are not reflected even on large-scale maps. By objective causes, reports on regular ground-based surveys being carried out within the jurisdiction of Rosvodresources do not contain the full information.

Methods. Using materials of remote surveying water protection zones with applying pilotless aircrafts permits to obtain information on density of the erosion network and tendencies of its changing. The main basis regulating an opportunity for using aerial survey materials for the mentioned purposes is an open surface of an area for aerial observation.

Results. Procedure of using materials of aerial surveying by pilotless aircrafts of water protections zones area of water bodies is described. It is necessary for obtaining reliable actual information on erosion dismembering its surface and determining morphometric parameters of practically all, even the smallest negative forms of the relief.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг водных объектов, водоохранная зона, формы рельефа, густота эрозионной сети, тальвег

Keywords: pilotless aircraft, monitoring of water bodies, water protection zone, relief forms, density of erosion network, talweg.

Характер и интенсивность эрозионных процессов, происходящих в водоохранной зоне водного объекта, в значительной степени определяют возможности её хозяйственного освоения, стабильность положения береговой линии, интенсивность и объёмы выноса в водный объект материала разрушения берегов, во взвешенном и растворённом состояниях, то есть характеристик, имеющих существенное, а нередко и решающее, значение для принятия управленческих решений по осуществлению хозяйственных и природоохранных мероприятий в водоохранной зоне [1].

В автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) эрозионные процессы в водоохранной зоне определяются состоянием эрозионной сети, которое характеризуется двумя параметрами - густотой эрозионной сети (ГЭС) и величиной её изменения во времени. ГЭС определяется протяжённостью эрозионной сети на единицу площади и измеряется в км/км² или м/м².

Нормативные документы Минприроды России, Росводресурсов не содержат методических указаний по оценке величины ГЭС, а также требований к источнику исходных данных для её определения. Между тем, в зависимости от выбранного для расчёта масштаба картографической основы, типов учитываемых эрозионных форм рельефа, других исходных параметров результат может существенно различаться. Даже на используемых для разработки проектов водоохранных зон водных объектов топографических картах, имеющих гриф секретности, невозможно определить положение тальвегов мелких оврагов, а тем более борозд и рытвин. На несекретной топооснове можно уверенно показать только положение тальвегов рек, ручьёв, реже - крупных балок.

Для изучения рельефа берегов водных объектов всё более активно используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. В частности, по материалам дистанционного зондирования с помощью БПЛА возможно выявление и определение положения тальвегов практически всех линейных эрозионных форм рельефа, расположенных в водоохранной зоне

[9, 10, 2]. В настоящей статье излагаются принципы и основные положения разработанной нами методики определения ГЭС водоохранной зоны водного объекта на основе анализа фотоматериалов, полученных в результате съёмки территории водоохранной зоны с БПЛА. Показана также возможность оценки её связи с особенностями природных условий водоохранной зоны, видом и интенсивностью её хозяйственного освоения. Приведены примеры использования предлагаемых методик для характеристики эрозионной расчленённости участков водоохранной зоны Цимлянского водохранилища и оценки её зависимости от природных условий территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение ГЭС осуществляется с использованием инструментария ESRI ArcMap 10.2.2, и Agisoft PhotoScan Professional. Для её определения необходимо последовательное выполнение следующих действий:

- визуальное дешифрирование эрозионных форм рельефа исследуемой территории по фотоматериалам, полученным с помощью БПЛА;
- маркирование (оцифровка) всех тальвегов для дальнейших расчетов и создания отдельного слоя для ГИС-проекта;
- создание слоя площадей территорий для расчета густоты эрозионной сети;
- расчет густоты эрозионной сети в ГИС ArcMap 10.2.2.

Для выявления эрозионных форм и определения положения их тальвегов на основе серий фотоснимков, выполненных БПЛА, строят цифровые модели рельефа (ЦМР), представленные горизонталями с заданной высотой сечения, которая должна определяться по результатам анализа особенностей рельефа местности расположения водного объекта. Следует учитывать, что увеличение сечения между горизонталями будет сопровождаться некоторой потерей густоты эрозионной сети, поскольку не будут отражены наиболее мелкие формы эрозионного рельефа. В то же время изменение значений высоты сечения даёт возможность выявления депрессий разной размерности и определения их морфометрии. Кроме того,

использование данного приёма позволяет более точно определять места окончания борозд и рытвин, образующихся на склонах более крупных эрозионных форм, но не достигающих их тальвегов, а также выполнять построение поперечных сечений на проблемных участках.

Все депрессии, даже относительно неглубокие, хорошо фиксируются на карте высот по изменению окраски или её интенсивности.

На аэрофотоснимках при визуальном дешифрировании эрозионные формы рельефа и их тальвеги могут быть идентифицированы по прямым и косвенным дешифровочным признакам. Прямые дешифровочные признаки отражаются непосредственно на снимках. Косвенные признаки визуального дешифрирования позволяют выявить объекты и их свойства, которые не удаётся уверенно определить непосредственно на снимке.

Для выявления участков водоохранной зоны водного объекта, различающихся по степени горизонтального расчленения, а также для оценки связи густоты эрозионной сети с изменениями природных условий или последствиями антропогенной деятельности необходимо осуществить деление её территории на сегменты,

Предлагаются два способа деления водоохранной зоны на сегменты для определения значения ГЭС.

Первый способ не связан с предварительным выделением каких-то участков по заданному признаку. В этом случае проводят прямые линии, соответствующие усреднённому простиранию береговой линии водного объекта на определённом участке, которые делят на равные отрезки. Через полученные точки перпендикулярно к построенным нами линиям проводят лучи, пересекающие водоохранную зону (рис.) и являющиеся боковыми границами сегмента.

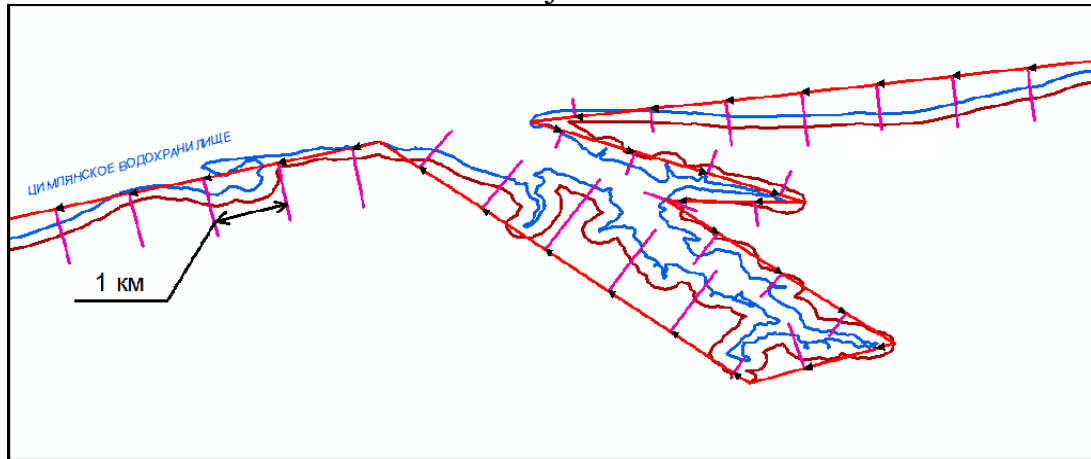


Рисунок - Деление на элементарные сегменты участка водоохранной зоны Цимлянского водохранилища

Положение данных границ корректируют в зависимости от фактического расположения элементов эрозионного рельефа на данном участке, прежде всего, таким образом, чтобы они не проходили непосредственно по тальвегам депрессий. Величина отрезков, на которые делят линию усреднённого простираения водоохранной зоны, определяется в зависимости от решаемых задач, но в общем случае она должна быть соизмерима с шириной наиболее крупных линейных эрозионных форм, встречающихся на данной территории.

Второй способ используется, когда известны признаки, по которым выделяют искомые участки. В этом случае территория водоохранной зоны делится на участки, в границах которых данный признак проявлен, например, принадлежность к определённому типу берега.

Для каждого выделенного одним из рассмотренных способов сегментов определяют площадь, длину тальвегов расположенных в границах его эрозионных форм и рассчитывают величину густоты эрозионной сети. Проводят ранжирование полученных элементарных сегментов по величине ГЭС, в соответствии с выбранным интервалом (шагом) изменения её значения. Для лучшей визуализации полученных результатов сегменты с различным значением ГЭС показывают разным цветом.

Оценку ГЭС нескольких участков, в том числе расположенных на некотором удалении друг от друга, осуществляют одним из перечисленных ниже способов.

– Интерактивной выборкой объектов при помощи курсора. Используя встроенные инструменты выборки, расположенные на панели: «Инструменты», «Выбрать прямоугольником», «Выбрать полигоном», «Выбрать лассо», выделяют интересующие объекты. Статистические значения их параметров отражаются на нижней панели окна «Статистика по выбранным объектам слоя».

- Выборкой объектов с использованием встроенного в ArcMap инструмента «Выбрать по расположению».

– Использованием встроенного в ArcMap метода «Выбрать по атрибуту».

– Выбором диапазона номеров объектов.

– Выбором категории или класса из легенды слоя.

Для выделенных указанными способами участков водоохранной зоны автоматически производится определение статистических характеристик интересующих нас параметров: длины тальвегов по типам объектов, площади участка, величины ГЭС и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использование первого способа деления водоохранной зоны на элементарные сегменты для определения значения ГЭС позволяет решать следующие задачи.

Определить участки с заданной величиной густоты эрозионной сети и определить долю площади водоохранной зоны водного объекта, которую они занимают на обследованной территории. Детальность анализа пространственной неоднородности ГЭС на территории водоохранной зоны водного объекта может регулироваться величиной шага изменения её значения при определении рангов элементарных сегментов.

Целенаправленное выделение участков с заданной густотой эрозионной сети позволяет провести ранжирование водоохранной зоны водного объекта по возможности её хозяйственного освоения (например, дорожного строительства), потенциальной опасности активизации склоновых экзогенных геологических процессов (ЭГП), условиям, способствующим выносу материала в акваторию водохранилища. У органов управления появляются дополнительные критерии определения необходимости и последовательности принятия мер по обеспечению экологической безопасности на территории, прилегающей к водному объекту.

Выявление резкого «немотивированного» изменения величины густоты эрозионной сети на смежных участках может являться признаком наличия скрытых факторов, влияющих на строение и развитие рельефа водоохранной зоны. С целью их выявления необходимо проведение детального анализа отличий в природных условиях и хозяйственном использовании участков, существенно отличающихся по величине ГЭС, и примыкающих к ним территорий.

Второй способ рационально использовать, когда участки, для которых осуществляется сравнение ГЭС, уже выделены по какому-то признаку. С целью оценки зависимости ГЭС от особенностей природных условий водоохранной зоны, типов и интенсивности её хозяйственного освоения необходимо определить величину ГЭС для участков, однородных по оцениваемому параметру.

Выделение участков с заданными границами позволяет регулировать детальность анализа зависимости ГЭС от факторов природного и антропогенного характера и оценивать изменение её величины в зависимости от сочетания различных параметров природных комплексов водоохранной зоны. Например, можно определить различия ГЭС для берегов абразионно-оползневого и абразионно-обвального типов, в целом для изучаемого водоёма или в границах разных морфоструктурных единиц, в пределах которых он расположен.

Предлагаемые методические указания позволяют рассчитать ряд статистических показателей, необходимых для оценки ГЭС водоохранной зоны, в том числе: определение площади оцениваемого участка; суммы длин рек и ручьёв, оврагов и балок, борозд и рытвин; сумму длин всех тальвегов в границах сегмента, а также не выходящих за его границы и пересекающих их; густоту эрозионной сети для всех типов тальвегов и отдельно для рек и ручьёв, оврагов и балок, борозд и рытвин.

Рассматриваемые методические рекомендации позволяют выявлять закономерности территориального изменения густоты эрозионной сети и определять её связи с природными условиями водоохранной зоны.

В частности, возможно:

- Выделение участков водоохранной зоны с заданным интервалом ГЭС сети для элементарных сегментов. Аналогичным способом могут быть выделены участки, классифицированные по другим статистическим параметрам.
- Определение густоты эрозионной сети нескольких территориально разобщённых участков, не являющихся элементами отдельного слоя ГИС-проекта, или для которых не выполнена предварительная обработка, необходимая для автоматизированного определения значения параметра ГЭС. Например, территории населённых пунктов или участки с определённым типом растительности, или имеющие аналогичное геологическое строение.

В методических рекомендациях изложен также опыт применения разработанных способов определения ГЭС для анализа её территориальной изменчивости и связи с природными условиями на участках водоохранной зоны Цимлянского водохранилища, обследованных с использованием БПЛА.

Приведена информация по определению значения ГЭС:

- в целом для водоохранной зоны водохранилищ;
- по обследованным муниципальным районам;

- по основным морфогенетическим типам рельефа побережья водохранилища: долине р. Дон, Доно-Донецкой возвышенности, Ергенинской возвышенности, Восточно-Донской гряде.

ВЫВОДЫ

1. Использование материалов, полученных с помощью БПЛА, позволяет для участков, незакрытых сплошным растительным покровом, определить ГЭС водоохранных зон, образованную определённым типом водотоков.

2. Создан инструмент для оценки изменения во времени величины ГЭС выбранного участка водоохранной зоны.

3. Полученные результаты определения значения ГЭС и её изменчивости могут использоваться при разработке программ освоения водоохранных зон, в том числе планирования мероприятий с учётом вероятного изменения эрозионного рельефа их территории.

4. Анализ состояния и изменений ГЭС водоохранной зоны позволяет разработать мероприятия по предупреждению негативных последствий активизации ЭГП.

5. Полученные результаты определения ГЭС, анализ её изменения в зависимости от природных условий различных участков водоохранной зоны Цимлянского водохранилища позволяют говорить о заметном влиянии принадлежности территории к определённой морфоструктуре на развитие эрозионной сети.

Список источников

1. Природоохранные комплексы побережья Цимлянского водохранилища / под ред. д.г.н., проф. Н.М.Новиковой. М. 2014. 152 с.

2. Parakonstantinou A., Doukari M., Topouzelis K. Coastline change detection using unmanned Aerial Vehicles and Image Processing Techniques // Fresenius Environmental Bulletin, Greece. 2017. No. 26. P. 5564 – 5571.

3. Chatzikyriakou C. UAV Laser Scanning for DTM Generation in Coastal Areas / Department of Geoscience and Remote Sensing // Delft University of Technology. 2017. p.107 (in Netherlands).
4. Быстров А. Ю. Разработка методики геоинформационного обеспечения мониторинга водоохраных зон рек и водохранилищ. Автореф. дис. канд. техн. наук. М. 2018. 24 с.
5. Крыленко М. В., Крыленко В. В. Особенности выполнения высокоточной съёмки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА // Бюл. науки и практики. Науки о Земле. 2020. Т.6, № 2. С. 10-19.
6. Лучников А.И., Ляхин Ю.С., Лепихин А.П. Опыт применения беспилотных летательных аппаратов для оценки состояния берегов поверхностных водных объектов //Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 37-46.
7. Косолапов А.Е., Скрипка Г.И., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Филатов А.А. Исследование морфологических и морфометрических особенностей берегов Цимлянского водохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов и ГИС-технологий// Аридные экосистемы. 2018. №3 (24). С.36-42.
8. Скрипка Г.И., Глинка В.В., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В. Уточнение схемы типов берегов Цимлянского водохранилища на основе съёмок с беспилотных летательных аппаратов // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – II»): материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова
9. Скрипка Г.И., Сердюк Л.В., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Филатов А.А. Методика оценки густоты эрозионной сети водоохраных зон водохранилищ с использованием съёмок с беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и

ГИС-технологий (на примере Цимлянского водохранилища) // Естественные и технические науки, 2018. №5 (119). с.162-168.

10. Скрипка Г.И., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Сердюк Л.В. Опыт оценки густоты эрозионной сети водоохранной зоны Цимлянского водохранилища на основании материалов дистанционных обследований. // Цифровая география: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020г.): в 2 т. Т. 1: Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии; Пермский гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2020, с.170-173.

References

1. Nature-protective complexes of the Tsimlyansk reservoir coastline / edited by Dr. Sc. (Geogr.), Prof. N.M. Novikova. Moscow, 2014. 152p. (in Russian)
2. Papakonstantinou A., Doukari M., Topouzelis K. Coastline change detection using unmanned Aerial Vehicles and Image Processing Techniques // Fresenius Environmental Bulletin, Greece. 2017, No. 26. P. 5564-5571.
3. Chatzikyriakou C. UAV Laser Scanning for DTM Generation in Coastal Areas/ Department of geoscience and Remote Sensing // Delft University of Technology.2017. p.107 (in Netherlands).
4. Bystrov A.Yu. Developing methods of geoinformation securing for monitoring water protection zones of rivers and reservoirs. Author's abstract of Cand.Sc.(Technics) dissertation. Moscow, 2018. 24p. (in Russian).
5. Krylenko M.V., Krylenko V.V. Features of carrying out high-precision survey of abrasive bank with the help of pilotless aircrafts. // Bulletin of Science and Practice. Earth sciences. 2020. Vol.6. №2. p. 10-19 (in Russian).
6. Luchnikov A.I., Lyakhin Yu.S., Lepikhin A.P. Experience of using pilotless aircrafts for assessing bank state of surface water bodies. // Water Industry of Russia: problems, technologies and management. 2018. № 1. P. 37-46 (in Russian).

7. Kosolapov A.E., Skripka G.I., Bepalova L.A., Ivlieva O.V., Filatov A.A. Research into morphological and morphometrical features of the Tsimlyansk reservoir shores with using pilotless aircrafts of the and GIS-technologies. // Arid ecosystems. 2018. № 3 (24). p. 36-42 (in Russian).

8. Skripka G.I., Glinka V.V., Bepalova L.A., Ivlieva O.V. Clarification of outline for the Tsimlyansk reservoir shores based on surveys from pilotless aircrafts. // Regularities of forming and effecting marine, atmospheric dangerous phenomena and disasters for RF coastline area under conditions of global climatic and industrial challenges. («Dangerous phenomena – II»: Proceedings of the Second International Conference in memory Ras Associate Member D.G. Matishov (in Russian)).

9. Skripka G.I., Serdyuk L.V., Bepalova L.A., Ivlieva O.V., Filatov A.A. Methodology for assessing density of erosion network in water protection zones of reservoirs using pilotless aircrafts (PLA) and GIS-technologies (the Tsimlyansk reservoir as an example). // Natural and Technical Sciences, 2018, № 5 (119), p. 162-168. (in Russian).

10. Skripka G.I., Bepalova L.A., Ivlieva O.V., Serdyuk L.V. Assessing the density of the erosion network in the water protection zone of the Tsimlyansk reservoir based on materials of remote surveys. // Numerical geography: Proceedings of All-Russian practical-scientific conference with International participation (Perm 'City, September 16-18, 2020) in 2 volumew. Vol.1: Numerical and geoinformation technologies when studying natural processes, ecology, nature management and hydrometeorology, Perm'state national / research University. Perm, 2020, p. 170-173 (in Russian).

Для цитирования: Скрипка Г.И., Сердюк Л.В., Сапрыгин В.В. Оценка значения густоты эрозионной сети территории водоохранных зон водных объектов по материалам аэросъемки беспилотным летательным аппаратом // Московский экономический журнал. 2022. № 11. URL: <https://qje.su/nauki-o-zemle/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2022-57/>

Московский экономический журнал. № 11. 2022

Moscow economic journal. № 11. 2022

© Скрипка Г.И., Сердюк Л.В., Сапрыгин В.В., 2022. *Московский экономический журнал, 2022, № 11.*