

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПОЛИГОНОВ  
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ**  
APPLICATION OF THE GEORADAR METHOD FOR THE ASSESS THE  
GEOECOLOGICAL STATE OF THE TERRITORIES OF SOLID WASTE  
LANDFILLS



УДК 550.3:621

DOI:10.24411/2588-0209-2020-10233

**Шаповалов Дмитрий Анатольевич**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, кафедра почвоведения, экологии и природопользования, г. Москва

**Скубиев Сергей Иванович**, к.э.н., ведущий инженер, ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, г. Москва

**Холин Родион Николаевич**, аспирант, ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, кафедра почвоведения, экологии и природопользования, г. Москва

**Скоробогатова Ульяна Евгеньевна**, старший преподаватель, ФГБОУ ВО Государственный университет по землеустройству, кафедра дистанционного зондирования и цифровой картографии, г. Москва

**Shapovalov D.A.** [shapoval\\_ecology@mail.ru](mailto:shapoval_ecology@mail.ru)

**Skubiev. S.I.** [skb25@mail.ru](mailto:skb25@mail.ru)

**Kholin R.N.** [rodion8049494@yandex.ru](mailto:rodion8049494@yandex.ru)

**Skorobogatova U.E.** [ulyana\\_sk@mail.ru](mailto:ulyana_sk@mail.ru)

#### **Аннотация**

В работе рассмотрено применение метода георадарной съемки для оценки уровня и динамики поступления фильтрата свалки в грунтовые воды с целью определения геоэкологического состояния окружающей территории и водных объектов. Исследования проводились на полигоне твердых коммунальных отходов (ТКО) «Долгопрудный» в Московской области. На основе проведенной съемки объекта с помощью беспилотного летательного

аппарата (БПЛА) построена трехмерная модель полигона и определен профиль георадарной съемки. Проведены георадарные исследования по 49 профилям и определены зоны, переувлажнения грунтов на глубинах от 0,2 до 1.9 м. На основе ранее разработанной модели фильтрации оценено время просачивания фильтрата в грунтовые воды, составляющее от 0,35 до 4 суток.

Проведенные исследования показали перспективность использования георадарного метода для целей комплексной оценки геоэкологического состояния окружающей среды вблизи полигонов ТКО.

### Summary

The project considers the application of the georadar survey method for the assess the level and dynamics of landfill filtrate entering ground water in order to determine the geoeological state of the surrounding territory and water bodies. The research was conducted at the Dolgoprudny municipal solid waste landfill in the Moscow region. Based on the survey of the object using an unmanned aerial vehicle, a three-dimensional model of the polygon was built and the profile of the georadar survey was determined. Georadar researches were conducted out on 49 profiles and zones of waterlogging of soils at depths from 0.2 to 1.9 m were determined. Based on the previously developed filtration model, the time of seepage of filtrate into ground water is estimated to be from 0.35 to 4 days.

The research has shown the perspective of using the georadar method for a comprehensive assessment of the geoeological state of the environment near solid waste landfills.

**Ключевые слова:** георадарное зондирование, полигон твердых коммунальных отходов, рельеф местности, водоносный горизонт.

**Keywords:** the georadar sounding, solid municipal waste landfill, relief, aquifer.

### Введение

Наиболее серьезной опасностью в аспекте проявления негативного влияния полигонов ТКО на окружающую природную среду является химическое загрязнение подземных и поверхностных вод стоками и фильтратом. Особенно данная проблема актуальна вблизи крупных городов, где экологическое состояние территорий, прилегающих к полигонам, напрямую влияет на здоровье населения. Существующие системы мониторинга территорий, в том числе экологического состояния полигонов, хотя и охватывают большое число методов и технических средств контроля [1-4], недостаточно эффективны и не всегда оперативно отслеживают уровень и опасность загрязнения геологической среды и поверхностных вод.

**Целью** настоящей статьи является исследование возможностей оценки геоэкологической опасности загрязнения стоками и фильтратом полигона окружающих его территорий и водных объектов с использованием метода георадиолокации.

**Объектом** исследований выбран полигон ТКО «Долгопрудный», расположенный в Московской области (рис.1). Выбор объекта обусловлен сложным рельефом и наличием вблизи водных объектов, в том числе канала им. Москвы.

Полигон ТКО «Долгопрудный» закрыт на рекультивацию еще в 2014 году, однако к работам приступили лишь в 2019 году, срок рекультивации примерно семь лет.

В районах размещения полигона ТКО «Долгопрудный» подземные воды представлены надюрским водоносным горизонтом. Уровень грунтовых вод расположен на глубине менее 3 метров, значительные участки находятся в зоне подтопления.

Водовмещающими породами являются современные техногенные отложения (tIV) – насыпные пески, современные озерно-болотные отложения мощностью 0,2-13,1 м; (1,bIV) – торф, верхнечетвертичные аллювиальные и аллювиально-озерные отложения второй надпойменной террасы р. Поля мощностью 0,7-2,4 м, (a,12III) – пески и супеси мощностью 5,6-9,5 м. Подстилающим водоупором являются слабопроницаемые глины оксфордского яруса верхнего отдела юрской системы (J3ox) мощностью до 4,3 м. Уровень водоносного горизонта в зависимости от сезона может колебаться в пределах 1,0 м. Питаются водоносные горизонты за счет инфильтрации атмосферных осадков, разгружаются за счет бокового оттока, перетока в нижележащие горизонты и местную дренажную и гидрографическую сеть. В периоды сильных дождей и активного снеготаяния в толще насыпных грунтов полигонов ТКО возможно образование верховодки.



Рис. 1. Схема расположения полигона ТКО «Долгопрудный»

Учитывая изложенное, образующийся в теле полигона ТКО фильтрат способен попадать в неглубоко залегающие грунтовые воды и распространяться по направлению их движения.

К полигону ТКО «Долгопрудный» вплотную прилегает река Бусинка, которая перетекает в несколько прудов г. Москвы и Московской области и также впадает в реку Лихоборка. На рис. 2 схематично отображено возможное попадание стока свалки в прилегающие водные объекты.

В соответствии со схемой рельефа, свалка находится выше прилегающего к ней водного объекта. Активное использование свалки на протяжении тридцати лет способствовало формированию в теле полигона газогенерирующих грунтов [5], а также накоплению фильтрата, состоящего из высокотоксичных соединений различных классов опасности, который, в соответствии с представленной выше схемой, могут загрязнять водный источник.



Рис. 2. Схема возможного попадания стока полигона ТКО «Долгопрудный» в р. Бусинка

### Материалы и методы

В соответствии с поставленной задачей в исследованиях использовался метод георадиолокации. Он относится к группе геофизических электромагнитных методов и основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ сред с разными электрическими свойствами – электропроводностью и диэлектрической проницаемостью. Рабочая частота, при которой возможно использование данного метода – от 50 до 2000 МГц. В качестве неоднородностей могут выступать любые границы раздела сред, в том числе грунтовые воды, различного рода зоны загрязнений окружающей среды, как результат естественных и техногенных аварий и катастроф. Максимальный контраст в диэлектрических проницаемостях наблюдается между воздухом ( $\epsilon = 1$ ) и водой ( $\epsilon = 81$ ). Их соотношение в породе фактически определяет диэлектрическую проницаемость слоя. Сухие, монолитные, слабо трещиноватые породы будут иметь низкие значения диэлектрической проницаемости и высокие скорости, а влагонасыщенные породы будут

иметь высокие значения диэлектрической проницаемости и, как следствие, низкие значения скорости распространения электромагнитных волн.

Для определения оптимальных профилей георадарного зондирования и путей стока фильтрата необходимы детальные сведения о рельефе. Такие данные получены на основе высокодетальной съемки полигона ТКО с БПЛА 06.10.2020 г. В программе ArcGis была построена трехмерная модель полигона и прилегающих территорий и определен профиль георадиолокационной съемки (рис. 3,4).

Задачей интерпретации радарограмм являлось выделение и прослеживание границ слоев - осей синфазности (линии равных фаз одинаковых сигналов на соседних трассах, отраженных от различных границ раздела), выделение локальных объектов, зон с различным типом записи и их идентификация с геолого-гидрогеологическими особенностями строения разреза.

Обработка материалов производилась в программных продуктах:

- GeoScan 32 - производитель ООО «ЛОГиС»;
- Radexplorer - производитель ООО «Дека Геофизика».

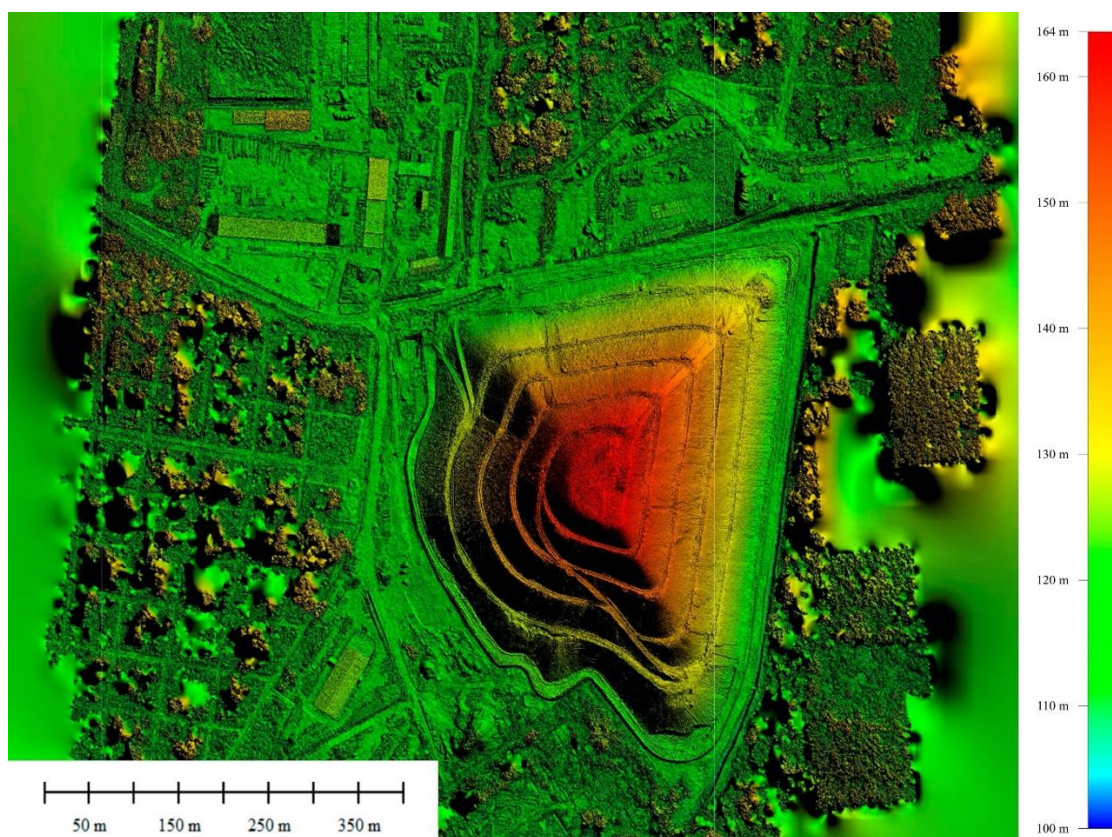


Рис. 3. Модель рельефа полигона «Долгопрудный»

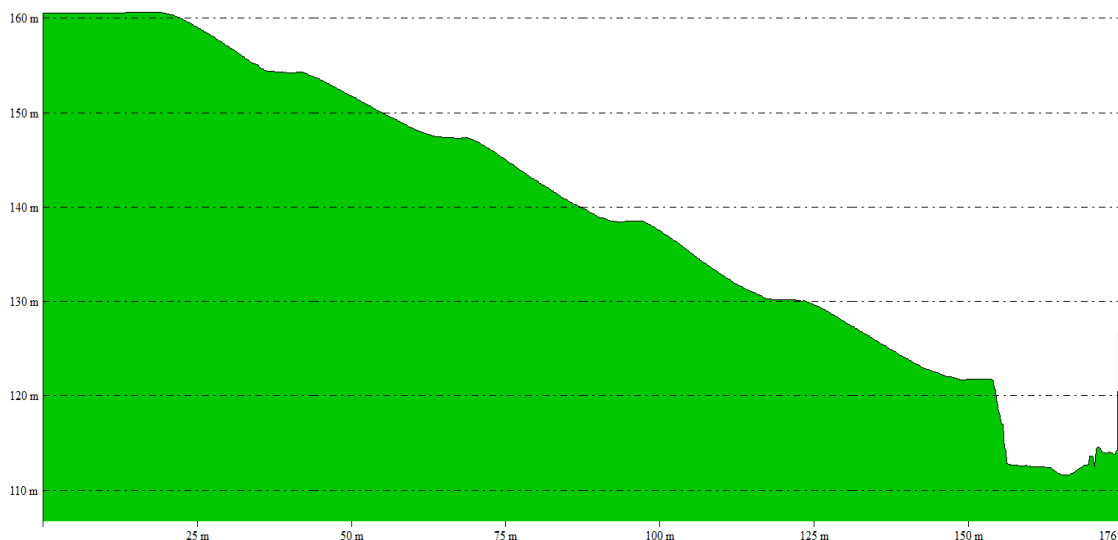


Рис.4. Профиль полигона «Долгопрудный» по линии стока фильтра

По итогам камеральной обработки составляется схема, отображающая положение выявленных областей и объектов в плане.

Полученные радарограммы позволяют выявить переувлажненные участки почвенного покрова, которые характеризуют близость залегающих водоносных горизонтов.

Определение мест локального увлажнения на схемах осуществляется по двум признакам:

Первый признак – увеличение контрастности отражающих границ (т.е. повышение амплитуды отраженных волн) на таких участках.

Второй признак – резкое понижение частоты на участках с повышенным увлажнением:

- 10-60 МГц – при центральной частоте антенных блоков 150-250 МГц;
- до 10-50 МГц – при центральной частоте антенного блока 300 МГц.

При этом частоты, характерные для данной антенны, в спектре отраженного сигнала отсутствуют. В среднем частота на участках с повышенным увлажнением в 3-8 раз меньше, чем на участках с обычным увлажнением [6].

В процессе георадиолокационного обследования на прилегающей территории было пройдено 49 профилей.

На обследованном участке зоны инфильтрации поверхностных и грунтовых вод, а также участки с переувлажненными грунтами выявлены и отмечены на 16 профилях. На этапе камеральной обработки осуществлялась программная обработка полевых данных, их интерпретация.

В качестве критерия при определении геоэкологического состояния прилегающих к местам захоронения твердых коммунальных отходов территорий с учетом георадиолокационного зондирования принимается завышенное обводнение грунта, его увлажненность.

На рис. 5 представлена радарограмма, отражающая обводнение грунта по профилю исследования.

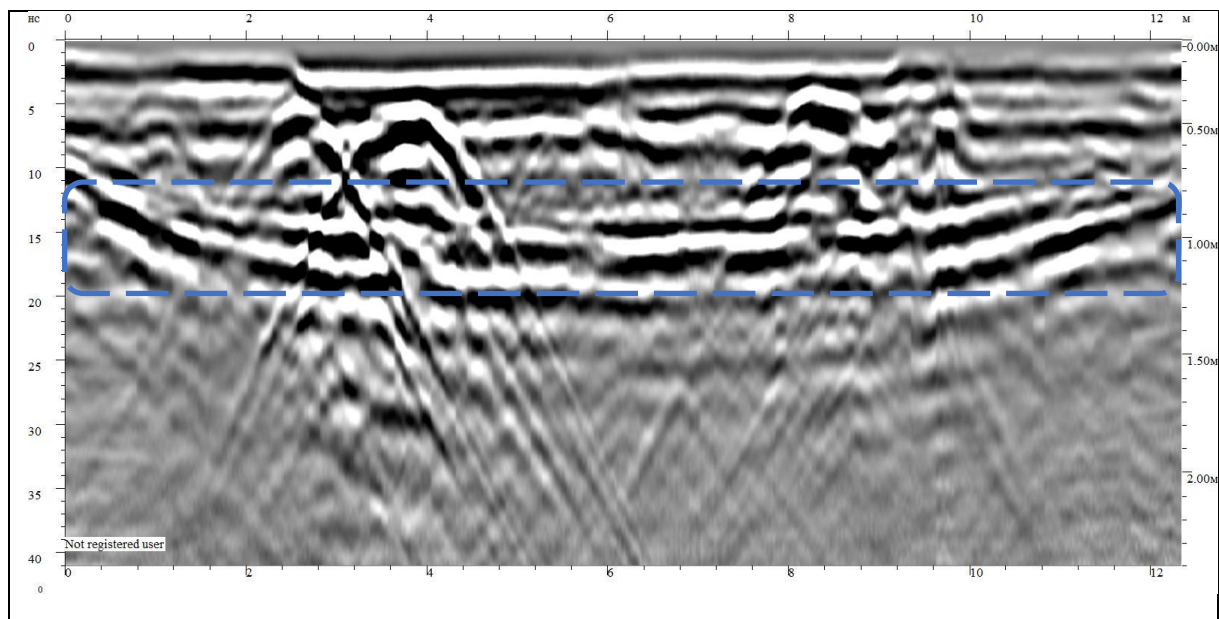


Рис. 5. Радарограмма отражающая существующее обводнение грунта

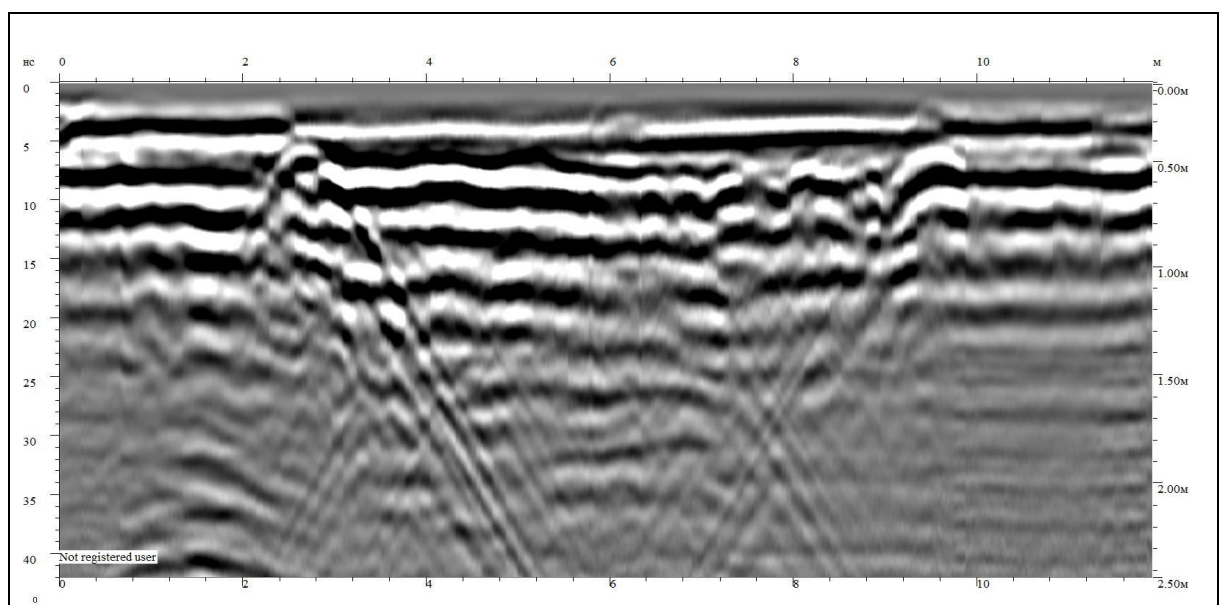


Рис. 6. Радарограмма с отсутствующими признаками увлажнения

Шкалы длины в метрах находятся в верхней части радарограммы, шкала глубины в метрах справа. Направление профиля указано стрелкой на схеме.

Синим маркером выделены возможные обводнения грунта.

На рис. 6 отражен фрагмент георадиолокационного профиля, где по данным исследования не наблюдается увлажнение. Направление профиля указано стрелкой на схеме.

Увлажненные участки на радарограммах представляются выразительными и интенсивными осями синфазности. В отличие от волновой картины, представленной на рис. 6, на рис. 5 весьма четко отмечаются оси синфазности.

В результате исследования также было выявлено, что при низкочастотной записи (20 МГц) отмечается уменьшение скорости электромагнитной волны до 5-6 см/нс, что характерно для чрезвычайно увлажненных грунтам. Указанные данные исследования были подтверждены при инженерно-геологических изысканиях.

Проведенные георадиолокационные обследования на прилегающей территории выявили возможное обильное увлажнение грунта на глубине 0,2 – 1,9 м. Данный критерий является показательным при моделировании миграции фильтрата и попадании его в подземные воды.

Оценка геоэкологического состояния по данному критерию возможна лишь на прилегающих к полигону ТКО территориях, поскольку характерный для морфологического состава отходов процесс диффузии, а также испарение влаги с поверхности тела свалки нарушают механизм выявления близости залегания подземных вод.

В работе авторов [7] разработана модель оценки показателей просачивания фильтрата свалки в подземные воды. Используя данную модель, вычислим количество осадков (АО), выпавших на полигон в холодное время (ноябрь-март) и теплое время года (апрель-октябрь):

$$AO_{\text{холодн.}} = F_1 \cdot h_1 \cdot K_p = 12800 \cdot 0,0012 \cdot 1,46 = 22,4 \text{ м}^3/\text{день.}$$

$$AO_{\text{тепл.}} = F_1 \cdot h_1 \cdot K_p = 12800 \cdot 0,0021 \cdot 1,46 = 39,2 \text{ м}^3/\text{день.}$$

Расчеты показывают, что суточный объем поступления фильтрата на полигон ТКО составляет 76% в холодный период и 44% в теплый период в общем потоке дневного водного баланса.

### Обсуждение результатов

Оценка уровня обводнения грунта в аспекте возможного попадания фильтрата в подземные воды подразумевает сравнительный анализ объемов фильтрата и объемов поступления осадков на водосборной площади полигона.

В случае, если  $t \leq 1$ , то в соответствии с приведенными расчетами фильтрат будет составлять существенный объем суточного водного баланса;

В случае, если  $t > 1$ , то в соответствии с приведенными расчетами фильтрат значительно с меньшей скоростью будет попадать в подземные воды, при этом доля выпавших в сутки осадков будет пропорционально увеличиваться, что положительно может сказываться на уровне загрязнения подземных вод за счет разбавления концентраций содержащихся в фильтрате веществ.

Для проведения расчетов по модели [7] используем полученные показатели обводнения:  $x = 0,2$  м.,  $n$  (для суглинка) = 0,35;  $K_{\phi} = 0,2$ .

$$t = 0,2 \cdot \frac{0,35}{0,2} = 0,35 \text{ сут.}$$

Соответственно, фильтрат составляет значительную долю (0,5-0,8) объема поступления поллютантов в грунтовые воды и вносит существенный вклад в загрязнение окружающей территории и близлежащих водных источников.

В местах, где методом георадиолокации определяются уровни обводнения на глубине 1,8- 1,9 м с учетом вычисленных показателей дневного количества осадков в теплое и холодное время года, доля фильтрата сокращается в холодное и теплое время года до 19% и 11% соответственно, что может положительно отражаться на показателях загрязнителей, превышающих ПДК.

### Заключение



Проведенные исследования показали возможность применения данных георадиолокационного контроля состояния почв и грунтов вблизи полигонов ТКО для первичной оценки зон максимальной скорости фильтрации поллютантов в грунтовые и поверхностные воды. Эта информация весьма важна для прогнозирования динамики загрязнения окружающей среды в рамках системы территориального геоэкологического мониторинга.

#### Литература

1. Ведешин Л.А., Шаповалов Д.А., Белорусцева Е.В. Космические информационные технологии для решения сельскохозяйственных задач// Экологические системы и приборы. 2011. № 9. сс. 3-10.
2. Щербаков А.Ю., Карев С.Ю., Абрамцев В.С., Прохоров И.С., Шаповалов Д.А., Скибарко А.П. Вопросы подготовки и контроля качества искусственно созданных грунтов для озеленения московских газонов// Экологические системы и приборы. 2012. № 10. сс. 28-33.
3. Рухович Д.И., Шаповалов Д.А. Об особенностях мониторинга почвенно-земельного покрова как информационной основы эффективного землепользования// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2015. № 12 (131). сс. 31-49.
4. Шаповалов Д.А., Груздев В.С., Балоян Б.М., Ухоботина Е.В., Хромов В.М. Тяжёлые металлы в малых водоёмах Подмосковья// Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 6. сс. 20-23.
5. Шаповалов Д.А., Ключин П.В., Горин В.В. Мониторинг газогеохимического состояния территории Люберецких полей фильтрации// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2011. № 11 (83). сс. 034-040.
6. <http://www.logsyst.ru>- официальный сайт компании «Логис».
7. Шаповалов Д.А., Холин Р.Н. Моделирование и оценка загрязнения грунтовых и поверхностных вод фильтратом полигона твердых бытовых отходов // Московский экономический журнал, 2020, (в печати).
8. Volkov S.N., Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Shirokova V.A., Khutorova A.O., Solutions of problems in defining indicators of agricultural land within the framework of activities for the implementation of the concept of development monitoring in the Russian Federation// International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM (см. в книгах). 2017. Т. 17. № 5.2. С. 819-828.

#### Literatura

1. Vedeshin L.A., Shapovalov D.A., Belorustseva E.V. Kosmicheskie informatsionnye tekhnologii dlya resheniya sel'skokhozyaistvennykh zadach// Ehkologicheskie sistemy i pribory. 2011. № 9. сс. 3-10.
2. Shcherbakov A.YU., Karev S.YU., Abramtsev V.S., Prokhorov I.S., Shapovalov D.A., Skibarko A.P. Voprosy podgotovki i kontrolya kachestva iskusstvenno sozdannykh gruntov dlya ozeleneniya moskovskikh gazonov// Ehkologicheskie sistemy i pribory. 2012. № 10. сс. 28-33.
3. Rukhovich D.I., Shapovalov D.A. Ob osobennostyakh monitoringa pochvenno-zemel'nogo pokrova kak informatsionnoi osnovy ehffektivnogo zemlepol'zovaniya// Zemleustroistvo, kadastr i monitoring zemel'. 2015. № 12 (131). сс. 31-49.

4. Shapovalov D.A., Gruzdev V.S., Baloyan B.M., Ukhobotina E.V., Khromov V.M. Tyazhelye metally v malykh vodoemakh Podmoskov'ya// Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo. 2009. № 6. cc. 20-23.
5. Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Gorin V.V. Monitoring gazogeokhimicheskogo sostoyaniya territorii Lyuberetskikh polei fil'tratsii// Zemleustroistvo, kadastr i monitoring zemel'. 2011. № 11 (83). cc. 034-040.
6. <http://www.logsys.ru>- ofitsial'nyi sait kompanii «LogiS».
7. Shapovalov D.A., Kholin R.N. Modelirovanie i otsenka zagryazneniya gruntovykh i poverkhnostnykh vod fil'tratom poligona tverdykh bytovykh otkhodov // Moskovskii ehkonomicheskii zhurnal, 2020, (v pechati).
8. Volkov S.N., Shapovalov D.A., Klyushin P.V., Shirokova V.A., Khutorova A.O., Solutions of problems in defining indicators of agricultural land within the framework of activities for the implementation of the concept of development monitoring in the Russian Federation// International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM (sm. v knigakh). 2017. T. 17. № 5.2. S. 819-828.