

УДК 504.75.06

Тұлеушова Р.Ж., зав. кафедрой «АТТ»  
Академия гражданской авиации

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ НЕЗАВИСИМОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТОКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

### Аннотация

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың есепке алынбаған ағынды суларының ластану дәрежесін бағалау үшін пилотсыз ұшу аппараттарын (ПҰА) қолданудың екі әдісі көрсетілген. Бұл кәсіпорын иесінің келісімінсіз өндіріске тәуелсіз экологиялық мониторинг жүргізу мәселесін шешеді.

**Түйін сөздер:** Қашықтықтан зондтау, қоршаған ортаны бақылау, вегетативтік көрсеткіш, пилотсыз ұшу аппараттары, судың ластануы, өндірістік сарқынды сулар.

### Аннотация

Освещены два пути использования БПЛА для оценки степени загрязнения неучтенных стоков промышленных предприятий. При этом решается задача проведения независимого экологического мониторинга производства без согласия собственника предприятия.

**Ключевые слова:** Дистанционное зондирование, экологический мониторинг, вегетативный индекс, беспилотный летательный аппарат, загрязнение воды, стоки предприятий.

### Abstract

Two ways of using UAVs for assessing the degree of pollution of unaccounted wastewater from industrial enterprises are highlighted. This solves the problem of conducting independent environmental monitoring of production without the consent of the owner of the enterprise.

**Keywords:** Remote sensing, environmental monitoring, vegetative index, unmanned aerial vehicle, water pollution, industrial wastewater.

### Введение

В настоящее время в Казахстане часто возникает ситуация, когда крупное предприятие, находящееся в частной собственности, не допускает независимый экологический мониторинг на свою территорию, предъявляя для контроля только главный канализационный сброс. Как правило, главный канализационный сброс отвечает проектным характеристикам очистных сооружений, которые также работают нормально.

Однако в ходе длительной эксплуатации и износа оборудования начинает возрастать доля неучтенных стоков на всех участках производственного цикла. Неучтенные стоки минуют главный канализационный сброс и образуют гидрогеологическую разветвленную сеть небольших потоков, которые растекаются по поверхности земли, местами уходя в грунт за счет дренажа, местами снова появляясь на поверхности в низинах и склонах рек. Свой вклад в создание неучтенных стоков вносят дожди и поливы территории. Подобная картина характерна для предприятий нефтяной промышленности, в малых масштабах для автомобильных заправок.

В силу ограничений на инспекции производственного цикла непосредственно на территории промышленного объекта, единственным способом контроля остаются измерения, производимые за периметром производственной зоны. В настоящей работе

описывается возможность оценки неучтенных стоков методами дистанционного зондирования с использованием БПЛА. Обоснование применения дистанционного зондирования с помощью БПЛА вытекает из сложностей организации наземного мониторинга за пределами обследуемого объекта, на большой территории и наличием труднодоступных мест.

Оценка уровня загрязнения и количества сточных вод путем наземных измерений является практически невыполнимой задачей, поскольку места проявления загрязнения проявляются по случайному закону, а контролируемая площадь достаточно велика. Кроме этого, часть выходов грунтовых вод на поверхность может находиться в труднодоступных местах, например, горных склонах или обрывах. В этой связи использование в целях мониторинга специально оснащенные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляется достаточно целесообразным.

### Предварительные сведения

В Казахстане система мониторинга создавалась в русле концепции Ю.А. Израэля. Согласно данной концепции мониторинг рассматривается как информационная система, обнаруживающая антропогенные изменения окружающей среды на фоне ее естественных видоизменений.

Параллельно существует другая концепция (И.П. Герасимов), рассматривающая мониторинг в виде двух составных частей. В первой части осуществляется наблюдение за состоянием здоровья людей. Во второй, регистрируются изменения природных экосистем и наблюдается их трансформация в природно-антропогенные.

Согласно имеющейся классификации рассматриваемый случай мониторинга сточных вод на территории непосредственно прилегающей к предприятию – загрязнителю называется *импактным мониторингом*. Наиболее близким к рассматриваемому случаю уровнем мониторинга является мониторинг целых промышленных зон городов и предприятий, который в данной классификации называется *локальным мониторингом*.

В соответствии с концепцией Израэля, блок-схема системы мониторинга выглядит так, как на рис. 1. Как видно из представленной схемы система мониторинга имеет внешнее управление. В данной концепции системы мониторинга образуют многоуровневую систему и каждая конкретная схема должна строиться с учетом взаимодействия с соседними уровнями.

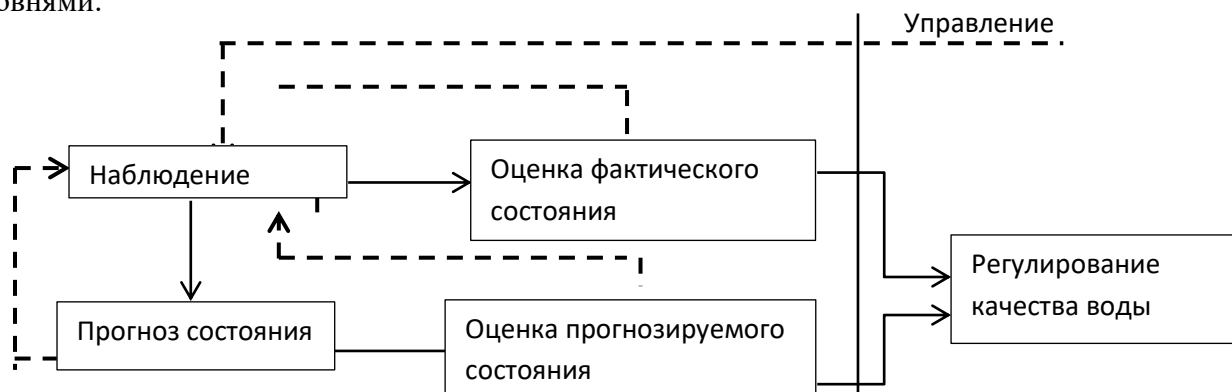


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга по Ю.А. Израэлю. источник: [1].

Представленная архитектура системы мониторинга действует в странах СНГ более 50 лет. В настоящее время в качестве компонентов системы широко используются автоматизированные цифровые системы. Бортовой комплекс измерений (БКИ) БПЛА изначально является такой системой. Одним из преимуществ данного способа мониторинга является использование БПЛА не только как мобильной измерительной единицы, а в контексте применения в качестве сегмента более масштабной системы мониторинга.

В различных целях и формах, использование БПЛА для мониторинга достаточно распространено [2,3]. Вместе с тем, каждый конкретный вид целевого использования БПЛА требует отдельной проработки по выбору полезной нагрузки; планированию полетного задания; методов обработки полученной информации, а также разработки соответствующих нормативов на БПЛА, БКИ и обеспечения безопасности полетов.

Описываемый вид наблюдений представляет собой средства мониторинга неучтенных сбросов воды предприятиями нефтяной, горной и химической промышленности, а также ТЭК на территории непосредственно примыкающей к границам предприятия в диапазоне рабочих высот от 1 до 100 метров над уровнем местности.

Согласно существующей архитектуре БКИ должен проектироваться как подсистема более общей системы мониторинга (см. рис.2). В масштабах локальной системы мониторинга ее центром является лаборатория качества сточных вод.

Данные с БПЛА поступают в лабораторию и, в случае обнаружения подозрительного участка туда направляется наземная группа для взятия проб. Блок-схема имеет выход на локальную систему мониторинга. Локальная система мониторинга интегрирована в более общую сеть.

Системный мониторинг должен быть экономически доступен. Из этого вытекает намерение комплектовать аппаратуру БПЛА серийно выпускаемыми блоками. При этом, следует учитывать, что промышленные (не специализированные) камеры, устанавливаемые на летательный аппарат обладает довольно грубыми разрешающими характеристиками в цвете. Достаточно сравнить цветовое кодирование большинства серийных камер (bmp565): по 5 бит на красный и синий цвета и 6 бит на зеленый, и специализированные устройства, имеющие по 8 бит на канал, как минимум.



Рис. 2. Блок-схема импактного мониторинга с БПЛА.

По этой причине, в отношении данной конкретной задачи, целесообразно рассмотреть два подхода, приводимых ниже.

### **Прямой метод измерений загрязнения воды**

Прямые методы дистанционного зондирования применяются к местам скопления сточных вод на поверхности в виде небольших водоемов и луж. Предприятия нефтяной и горно-металлургической промышленности производят загрязнения, лежащие в диапазоне чувствительности методик дистанционного измерения. Уже в малом количестве, нефтяные добавки собираются на поверхности в пленку, обладающую выраженными интерференционными свойствами. Поскольку даже малое количество нефти в воде (12 грамм на 1 тонну [4]) делает ее не пригодной для употребления человеком, этот вид измерений достаточно актуален.

В дальнейшем к прямым методам будет отнесен только способ обнаружения загрязнений путем регистрации радужных пленок на поверхности открытой воды. Можно рассматривать изображение поверхность воды как определенным образом построенную функцию интенсивностей в цветовых каналах от двух пространственных координат. Изображение незагрязненной и спокойной воды будет соответствовать невозмущенному

состоянию этой функции. Любое воздействие на водную поверхность является возмущением данной функции. При этом изменение ее прозрачности можно сгруппировать в один класс возмущений, появление определенных химических добавок - в другой класс возмущений, механическое воздействие, искажающее форму поверхности воды - в третий класс возмущений и т.д.

Задача мониторинга будет состоять в анализе функции изображения водной поверхности с целью выделения класса возмущений, соответствующего радужным пленкам на поверхности. Здесь предполагается использовать алгоритм распознавания класса возмущенных функций, описанный в [5,6].

Согласно данному подходу, изображение водной поверхности, раскладывается на образы по специальному алгоритму. При этом известен только образ, соответствующий проявлениям радужных пленок. Важно, что в данном алгоритме число выделенных образов конечно при конечных размерах изображения. Тогда поиск поверхностных загрязнений осуществляется путем выделения образов из исходного изображения либо до обнаружения класса возмущений, соответствующего радужным пленкам, либо до исчерпания всех вариантов.

При разработке полетного задания следует ориентироваться на физические условия наблюдения интерференционной картины. Курсовые углы движения БПЛА при съемке определяются азимутом и углом места направлений на Солнце. Несоблюдение данного условия приведет к тому, что интерференционная картина не будет зафиксирована даже при наличии достаточной нефтяной пленки на поверхности воды.

### **Косвенный метод измерений загрязнения воды**

Часть сточных вод попадают в почву и путем фильтрации или, попадая в грунтовые воды, оказываются за пределами предприятия. Мониторинг чистоты подземных вод можно построить на одном сопутствующем обстоятельстве.

Грубая цветовая чувствительность серийной аппаратуры [7], при условии, что камеры могут захватывать ближний инфракрасный цвет, позволяет, тем не менее, регистрировать вегетативные изменения в растениях [8-12], причем [11] в комбинации красного и ближнего инфракрасного цвета можно наблюдать даже изменения гумуса в пахотных землях Казахстана. С другой стороны, вегетативные способности высших сосудистых растений чувствительны к составу питающей воды [13].

Таким образом, можно составить усилительный тандем, первый каскад которого образован чувствительной растительной массой, а второй аппаратурой БПЛА. Итоговая величина, полученная в результате зондирования, называется вегетативным индексом:

$$NDVI = \frac{\beta_{NIR} - \beta_{RED}}{\beta_{NIR} + \beta_{RED}}, \quad (1)$$

где  $\beta_{NIR}, \beta_{RED}$  — отражательные способности объекта съемки в ближнем инфракрасном и красном цвете соответственно. Этот индекс сильно зависит от состояния здоровья растений.

За один облет территории собираются данные о растениях на большой территории. При этом в генеральной совокупности будут присутствовать как здоровые, так и болезненные растения. Путем специальной статистической обработки генеральной совокупности данных, можно выделить нездоровые растения и локализовать места возможных загрязнений подпочвенных вод.

### **Заключение**

Несмотря на обилие информации о полезных применениях БПЛА, описанный здесь способ обнаружения протечек сточных вод с предприятий пока не нашел прямых аналогов в охваченных источниках. Крайне близким к изложенной методике является

промелькнувшая работа по определению загрязненности рек США, также с использованием вегетативных индексов. Это может свидетельствовать, что предложенный способ использования БПЛА является достаточно новым.

В этом методе можно увидеть способ независимого контроля неучтенных сточных вод крупных предприятий, которые не допускают экспертов на свою территорию. Способ может найти своих сторонников в лице местных органов власти, которые также ограничены правом частной собственности, но имеют большое желание штрафовать нарушителей экологических норм в пользу местного бюджета.

### Список использованной литературы

1. Мидоренко Д.А., Краснов В.С. Мониторинг водных ресурсов : уч. пособие, Тверь.: 2009, 77с.
2. Компания Agrostream [Электронный ресурс]:/ [https:// agrostream.net/ # interface](https://agrostream.net/#interface), заглавие с экрана, дата посещения 3.8.2019.
3. AUVSI –ассоциация беспилотных транспортных систем [Электронный ресурс] / <https://www.auvsi.org/> дата посещения 28.10.2019.
4. Шкала загрязнения рек и озер Казахстана становится критической // Газеты «Око» [сайт]: [2021]. URL: [https://online.zakon.kz/Document/?doc\\_id=31200551#pos=3;-81](https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31200551#pos=3;-81) (дата обращения 01.03.2021).
5. Наурызбаев М.К., Тулеушова Р.Ж. Описание динамики колебаниями мостовой конструкции в слабой мере. ISSN 2073-0071 Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук №6 (89), Ч1, стр.149 2016г.
6. Nauryzbayev, M. Tuleushova, R. Imangaliev, E. One approach to pattern recognition algorithm in weak measure based on the psychological theory of J. Kelly / Computational and Information Technologies in Science, Engineering and Education (CITech-2020). International Conference, (Almaty) oct. 2020. <https://acagor.kz/conference/citech-2020>
7. Дистанционное зондирование земли при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Проблемы и способы их решений./Российские беспилотники [Электронный ресурс:]. – Название с экрана, дата доступа 3.12.2019. / Источник: <https://russiandrone.ru/publications/distantcionnoe-zondirovanie-zemli-pri-pomoshchi-bes-pilotnykh-letatelnykh-apparatov-bpla-problemy-i-s/>
8. [Электронный ресурс:]. – Название с экрана, дата доступа 7.11.2019. / [https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote\\_sensor\\_types:avhrr](https://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensor_types:avhrr).
9. Borana S. L. and S.K.Yadav, NDVI-based vegetation changes and Seasonal variation In Semi Arid region, ESRI Inndia Conference-2018, September 10-11, 2018Volume: 19.
10. Borana S. L., S.K.Yadav an S.K.Parihar, Spatio-Temporal Assessment of Vegetation Cover of Jodhpur City and Surrounding Areas, International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 5, Issue 10, October 2017.
11. Терехова А.Г., Кауазов А.М. Методика оценки содержания гумуса в пахотных землях Северного Казахстана на основе спутниковых данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т.4 , № 2. С. 358-364.
12. Anne J. Hoek van Dijke и др., Does the Normalized Difference Vegetation Index explain spatial and temporal variability in sap velocity in temperate forest ecosystems? / Hydrology Earth System Sciences, 23, 2077–2091, 2019.- /<https://doi.org/10.5194/hess-23-2077-2019>.
13. Устойчивость растений к химическому загрязнению : уч. Пособие / сост. Кайгородов Р.В.; Перм. гос. ун-т .: Пермь, 2010, 151с.