

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕРВИСОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ МЕЛИОРАЦИИ**

*С.В. Брыль*

канд. техн. наук,

*М.С. Зверьков*

канд. техн. наук,

*С.С. Смелова*

канд. биол. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и  
сельхозводоснабжения «Радуга», Московская обл., г.о. Коломна,  
пос. Радужный

***Аннотация.** В условиях цифровизации мелиорации возникает потребность в адаптации существующих традиционных методов и разработки новых подходов для оценки состояния мелиоративных объектов. В статье рассматривается сравнительный анализ сервисов дистанционного зондирования Земли для оценки показателей технического и экологического состояния гидромелиоративных систем.*

***Ключевые слова:** мелиорация, цифровая мелиорация, дистанционное зондирование Земли, техническое состояние, экологическое состояние, мелиоративный объект, мелиоративная система.*

**Введение.** Исследователи для описания состояний природных систем (почв, растительности и др.), их морфологических признаков сравнительно часто выбирают анализ изображений. Например, известна технология вейвлет-анализа изображения почвенных профилей по спектральной яркости генетических горизонтов [1]. Вероятно, анализ изображений местности может быть полезным для фрагментации ландшафта при изучении индекса формы ландшафта [2], при изучении пространственного распределения концентраций фитопланктона и поллютантов в водных объектах [3], при районировании территорий по эколого-мелиоративным аспектам их использования [4], для целей районирования

почв по степени проявления эрозионных процессов [5], при эксплуатации гидромелиоративных систем [6] и гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса [7] и во многих других случаях.

Сегодня дистанционные технологии при мониторинге различных природно-техногенных комплексов находят широкое применение. Так известно, применение данных дистанционного зондирования Земли при классификации городских территорий [8], картировании орошаемых площадей [9], мониторинге показателей мелиоративных систем [6, 10] и во многих других случаях.

Необходимо отметить, что дистанционный мониторинг состояния мелиоративных объектов позволяет обеспечить решения задач по цифровизации отрасли мелиорации. Необходимость цифровизации отрасли отмечается во многих работах, например, в [6, 11]. Поэтому возникает потребность в адаптации традиционных методов проектирования и обследования мелиоративных объектов, а также разработка новых алгоритмов, основанных на современных информационных технологиях. Эти обстоятельства определяют актуальность настоящей работы.

Цель сравнительного анализа – изучение, выявление и адаптация функциональных возможностей существующих сервисов для сбора исходных данных, оценки технического и экологического состояния гидромелиоративных систем (ГМС) средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Такое эталонное оценивание носит название «бенчмаркинг» (*англ.* benchmarking). По предложению одного из апологетов бенчмаркинга Robert Camp этот вид эталонного оценивания включает до 12 различных стадий [12], которые могут быть сгруппированы в 5 основных шагов. Для целей настоящей работы эти стадии могут быть представлены в виде схемы, приведенной на рисунке 1. Необходимо отметить, что данный алгоритм эталонного оценивания имеет все существенные элементы бенчмаркинга. Однако, поскольку конечный результат работы не направлен на создание нового коммерческого продукта, ряд этапов может быть опущен. Работы проводились в рамках научного исследования, посвященного оценке состояния мелиоративных объектов методами ДЗЗ, по выданному Минсельхозом России Государственному заданию № 082-00256-20-00. В рамках научного исследования, в задачи которого входит выбор метода оценки состояния мелиоративного объекта, требуется разработать методику оценки технического и экологического состояния ГМС (блок 1 на рисунке 1). Для этого предварительно по результатам информационного поиска найдены основные сервисы, которые могут быть использованы для мониторинга, то есть для сбора исходных данных, необходимых для оценки технического и

экологического состояния (блок 2). Выбранные сервисы, перечень которых рассмотрен ниже, группируются по основным признакам, которые могут быть использованы (прямо или опосредовано) для мониторинга мелиоративного объекта по необходимым для выполнения оценки показателям (блок 3). Данные операции входят в планирование бенчмаркинга (I шаг).



Рисунок 1 – Бенчмаркинг выбора сервисов для сбора исходных данных

Сравнительный анализ (блок 4) направлен на выявление сходств и различий в инструментарии рассмотренных сервисов. На этом этапе важно выбрать такие продукты, которые наиболее полно отвечают поставленным задачам (имеют наибольшее число показателей, доступных для контроля и анализа мелиоративных объектов, сбора и получения данных об этих показателях). После выбора сервисов для дальнейших тестовых исследований важно провести первичную оценку ее производительности на реальном объекте (блок 5), возможность получения мак-

симального числа адекватных реальной ситуации на мелиоративной системе требуемых для оценки показателей). Данные операции входят в аналитическую часть бенчмаркинга (II шаг).

Для апробации разработанной методики с заинтересованными сторонами (например, собственниками ГМС) необходимо осуществить мониторинг эксплуатируемых гидромелиоративных систем (блок 6). Для этого разрабатывается методика мониторинга, функции которой обеспечивают сбор и анализ показателей технического и экологического состояния за определенный ретроспективный период. Таким образом производится оценка достижения функциональных целей (блок 7). Эти операции входят в тестовое внедрение результатов бенчмаркинга (III шаг).

Разработка плана действий (блок 8) должна включать расширение опыта применения созданной методики мониторинга и оценки ГМС. Необходимо фиксировать положительный и негативный опыт оценки (например, невозможность сбора или недостоверность полученных данных), чтобы выявлять слабые стороны методики для ее совершенствования (блок 9). По результатам такого отслеживания судят о необходимости повторного бенчмаркинга и совершенствования (обновления) методики (блок 10). Обновление методики может потребоваться в том числе в результате научно-технического прогресса в области ДЗЗ, совершенствования и обновления нормативно-правовой базы в рассматриваемой области. Эти операции входят в деятельное использование результатов бенчмаркинга (IV шаг).

Бенчмаркинг направлен также на обеспечение постоянного наличия актуальной методики (V шаг), которая должна покрывать потребности в первую очередь эксплуатирующих организаций, по оценке состояния мелиоративных объектов (блок 11). Кульминационной частью бенчмаркинга является внедрение разработанной методики в систему эксплуатации ГМС (блок 12). Для достижения этого результата необходима разработка руководящих нормативных документов по использованию ДЗЗ в оценке мелиоративных объектов и обучение специалистов, которые будут использовать эту методику в работе.

**Материалы и методы сравнительного анализа.** Выбор конкретного сервиса для мониторинга и сбора данных необходимо обосновать. Для этого разработана методика математической оценки. Каждому показателю в случае его «позитивной» характеристики (существенной для исследования состояния ГМС) присваивается балльный критерий  $x_i$  или его весовое значение  $x_i/n$  (где  $n$  – количество сравниваемых параметров;  $i$  – порядковый номер параметра). Сервис, которому отдается

предпочтение в выборе для мониторинга, должен удовлетворять условию:

$$\sum_{i=1}^n x_i = \max_{1 \leq j \leq k} X_j \text{ или } \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \max_{1 \leq j \leq k} X_j,$$

где  $X$  – значение результата сравнительного анализа сервиса;  $j$  – порядковый номер сервиса, которому соответствуют  $x_i$  характеристики из  $i \in [1; n]$ ;  $k$  – общее число сравниваемых сервисов.

Для выполнения сравнительного анализа, обобщения материалов и обоснования выбора методов, подходящих для мониторинга показателей технического и экологического состояния мелиоративных объектов, была составлена таблица с основными функциональными возможностями ряда сервисов ДЗЗ, которые были предварительно выбраны в ходе информационного поиска (таблица 1).

Таблица 1

**Исходные данные для сравнительного анализа**

Наименование сервиса	Исходные данные (сравниваемые параметры, инструменты)								
	Наличие актуальных спутниковых снимков	Загрузка снимков на компьютер	Снимками крупных масштабов	Спектральный анализ средствами сервиса	Пользовательский спектральный индекс <sup>a</sup>	Индекс NDVI <sup>b</sup>	Анализ влажности <sup>c</sup>	Доступ к данным только после подписки <sup>d</sup>	Возможность подключения метеодатчиков <sup>e</sup>
EarthExplorer	да	да	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет
EO Browser	да	да	нет/да <sup>i</sup>	да	да	да	да	нет	нет
Sentinel Playground	да	да	нет/да <sup>i</sup>	да	да	да	да	нет	нет
Copernicus Open Access Hub	да	да	да	нет	нет	нет	нет	нет	нет
LandViewer	да	да	да	да	да	да	да	нет	нет
ExactFarming	нет	нет	нет	да	нет	да	нет	да	да
EOSoil	нет	нет	нет	да	нет	да	нет	нет	да
EOS Crop Monitoring	нет	нет <sup>h</sup>	нет	да	нет	да	да	нет/да <sup>f,g</sup>	нет

Примечания: *a* – пользовательский спектральный индекс, то есть инструмент сервиса для вычисления спектральных индексов по формулам пользователя; *b* – наиболее доступный для анализа вегетационный спектральный индекс; *c* – влажности почвы и вегетирующих культур; *d* – доступ к сервису только после возмездной подписки (безвозмездная подписка не учитывается); *e* – возможность подключения пользовательских метеорологических датчиков, установленных на конкретном поле, для агрегации данных температуры воздуха, влажности и температуры почв; *f* – сервис предоставляется безвозмездно в ограниченном доступе, для анализа безграничного числа участков (полей) необходима годовая подписка на возмездной основе зависит от общей площади для мониторинга (в гектарах); *g* – безвозмездные данные для площади до 300 га; *h* – есть возможность загрузки пространственного распределения спектральных индексов для анализируемого поля; *i* – не для всех показателей доступны

В качестве исходных данных были выбраны на основе аналитического обзора такие характеристики сервисов, которые наиболее существенны для проведения оценки состояния ГМС. При этом некоторые потенциальные и существенные возможности, которые также необходимы для исследования ГМС, в таблице не отражены, но или реализованы во всех кейсах, или могут быть определены вручную другими доступными способами (например, измерение площадей).

В таблице 1 произведена цветовая дифференциация сравниваемых характеристик: зеленым цветом – позитивная характеристики ( $x_i = 1$ ), красным – негативная ( $x_i = 0$ ), желтым – нейтральная ( $x_i = 0,5$ ). В случае совпадения значений  $X_j$  математических оценок у двух и более сервисов необходимо произвести их подробное сопоставление для выбора одного из них.

**Результаты сравнительного анализа.** В таблице 2 и на рисунке 2 приведены результаты математической оценки сервисов дистанционного зондирования, предварительно отобранных для мониторинга показателей оценки состояния ГМС.

Таблица 2

**Итоги сравнительного анализа**

Группировка сервисов	Наименование сервиса ДЗЗ	Значение $X_j$	$\max(X_j)$
Полифункциональные для решения широкого круга задач сельского хозяйства, охраны окружающей среды, градостроительства (урбанистики) и др.	EarthExplorer	4,0	
	EO Browser	7,5	
	Sentinel Playground	7,5	
	Copernicus Open Access Hub	4,0	
	LandViewer	8,0	8,0
Адаптированные для решения задач в растениеводстве открытого грунта	ExactFarming	3,0	
	OneSoil	4,0	4,0
	EOS Crop Monitoring	3,5	

Два сервиса ДЗЗ получили минимальную оценку 4,0: EarthExplorer и Copernicus Open Access Hub (выделены красным цветом в таблице 2). В дальнейшем анализе сервисы рассматриваться не будут, так как они не обладают необходимым аналитическим инструментарием для непосредственного получения показателей мониторинга состояния ГМС. Однако сервисы позволяют получать на безвозмездной основе актуальные снимки изучаемых ГМС, сделанные с помощью различных спутников. Для получения спектральных характеристик требуется использование стороннего программного обеспечения. Данные сервисов предоставляются полностью на безвозмездной основе.

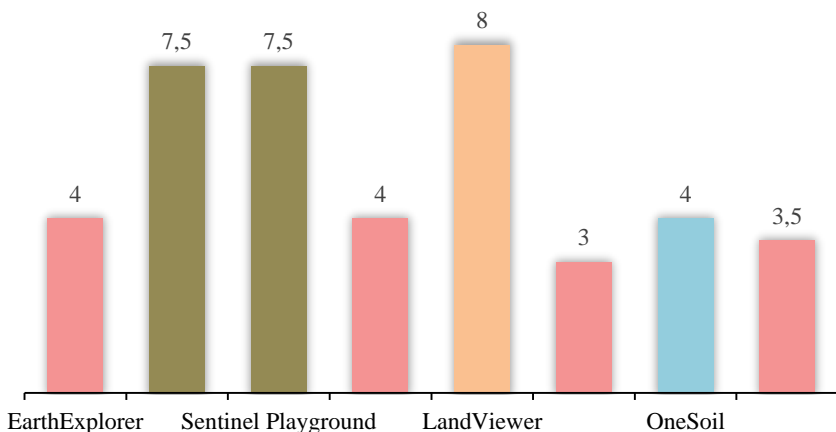


Рисунок 2 – Гистограмма сравнительного анализа сервисов ДЗЗ (цифрами указано значение оценки  $X_j$ )

Два похожих по функционалу сервиса EO Browser и Sentinel Playground, предоставляемые Sentinel Hub, получили одинаковые оценки 7,5. Их существенное преимущество в возможности загрузки актуальных спутниковых снимков (не для всех характеристик доступны в крупных масштабах), использования встроенных и пользовательских спектральных индексов для аналитики. Сервисы полностью безвозмездны. Эти сервисы приняты в качестве резервных.

Сервис LandViewer (выделен зеленым цветом в таблице 2) получил максимальную оценку 8,0. Он имеет преимущества по сравнению с сервисами EO Browser и Sentinel Playground. Во-первых, позволяет загружать снимки высокого разрешения, во-вторых, больший набор встроенных спектральных индексов для аналитики. Однако неограниченное использование функционала сервиса (прежде всего для загрузки спутниковых снимков, в том числе ретроспективных) осуществляется на коммерческой основе. Для безвозмездного использования ресурсом возможна загрузка не более 10 снимков в день. Для решения задач в рамках данного исследования предварительно принято, что этого достаточно. Этот сервис выбран в качестве основного инструмента мониторинга показателей ГМС.

Среди сервисов, адаптированных для решения задач, возникающих в отрасли растениеводства, наименьшие баллы среди всех анализируемых сервисов получили ExactFarming и EOS Crop Monitoring с оцен-

ками 3,0 и 3,5 соответственно. Существенным ограничением использования этих систем является коммерческая основа предоставления информации. Важным преимуществом перед рассмотренными выше в данном параграфе ресурсами данных является возможность в ExactFarming подключение датчика для контроля метеорологических показателей поля, температуры и влажности корнеобитаемого слоя почвы. Для сервиса EOS Crop Monitoring для выбранного поля доступен только один ретроспективный снимок сроком давности один год. Для одного поля можно выбрать коммерческую подписку и доступ к полному функционалу сервиса. Возможность расчета пользовательских спектральных индексов для аналитики недоступна. Информация такого объема недостаточна для проведения исследований.

Сервис OneSoil (выделен синим цветом в таблице 2) – один из рассмотренных адаптированных под растениеводство ресурсов и получивший высшую оценку 4,0. Сервис предоставляется безвозмездно. Для пользователя доступны для контроля NDVI и возможность построения карты для дифференцированного внесения удобрения под заданную урожайность культуры и экспорт карты на GPS-позиционное устройство гидроподкормщика или дозатора. Спектральное распределение NDVI недоступно для крупных масштабов. Оперативный контроль ограничен наличием в базе данных безоблачных для данного поля спутниковых снимков, ретроспектива соседних из которых может достигать недели или месяца. Данный сервис заслуживает внимания в тех случаях, когда для контроля необходим только показатель NDVI. Возможность расчета пользовательских спектральных индексов для аналитики недоступна.

Таким образом ограниченная выборка сервисов представлена: LandViewer (оценка 8,0) – основной для мониторинга показателей состояния ГМС, EarthExplorer и Copernicus Open Access Hub (оценки 4,0) – резервные для получения актуальных спутниковых снимков крупного масштаба. Сервисы EOS Crop Monitoring и OneSoil (оценки 3,5 и 4,0 соответственно) могут быть использованы для предварительных или ориентировочных оценок.

**Выводы.** В статье рассмотрен сравнительный анализ различных сервисов ДЗЗ. Сервисы LandViewer (оценка 8,0) и OneSoil (оценка 4,0) выбраны для использования в апробации разрабатываемой авторами настоящей статьи методики оценки состояния гидромелиоративных объектов.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Моисеев К.Г., Зинчук Е.Г. Возможности вейвлет-анализа фотоизображений почвенных профилей // Экология и строительство. 2019. № 4. С. 33–41. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-004.
2. Захаров К.В., Медведков А.А., Борисов В.Ф. Фрагментация ландшафта и парковое благоустройство как факторы накопления тяжелых металлов в листьях березы // Экология и строительство. 2020. № 1. С. 4–13. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-01-001.
3. Крашенинникова С.Б., Минкина Н.И., Самышев Э.З., Шокурова И.Г. Влияние комплекса факторов среды на биомассу фитопланктона и зоопланктона в Черном море в весенний период // Экология и строительство. 2019. № 4. С. 14–21. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-04-002.
4. Шадских В.А., Кижяева В.Е., Романова Л.Г. Эколого-мелиоративные аспекты использования орошаемых земель Саратовской области // Экология и строительство. 2020. № 2. С. 58–65. DOI: 10.35688/2413-8452-2020-02-008.
5. Гурбанов Э.А., Вердиев С.Б., Газиева П.Ч. Интенсивность овражной эрозии в аридных условиях на третичном плато Азербайджанской республики // Экология и строительство. 2017. № 4. С. 8–15.
6. Касьянов А.Е. Маркерные участки цифровой мелиорации сельскохозяйственных земель // Экология и строительство. 2020. № 3. С. 21–24. doi: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.
7. Савушкин С.С., Гжибовский С.А. К вопросу эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса // Экология и строительство. 2021. № 2. С. 22–28. doi: 10.35688/2413-8452-2021-02-002. 61. Касьянов А.Е. Маркерные участки цифровой мелиорации сельскохозяйственных земель // Экология и строительство. 2020. № 3. С. 21–24. doi: 10.35688/2413-8452-2020-03-003.
8. Мартынова А.Э., Солодянкина СВ. Факторный анализ классификации городских местообитаний на примере Сердловского округа города Иркутска // Экология и строительство. 2019. № 3. С. 12–19. doi: 10.35688/2413-8452-2019- 03-002.
9. Bazzi, H.; Baghdadi, N.; Amin, G.; Fayad, I.; Zribi, M.; Demarez, V.; Belhouchette, H. An Operational Framework for Mapping Irrigated Areas at Plot Scale Using Sentinel-1 and Sentinel-2 Data // Remote Sens. 2021. Vol. 13. 2584. DOI: 10.3390/rs13132584.
10. Poudel, U.; Stephen, H.; Ahmad, S. Evaluating Irrigation Performance and Water Productivity Using EEFlux ET and NDVI //Sustainability. 2021.Vol. 13. 7967. DOI: 10.3390/su13147967.
11. Захарова О.А., Кучер Д.Е., Машкова Е.И., Евсенкин К.Н., Мусаев Ф.А. Мелиорация земель и возможность ее цифровизации // Природообустройство. 2021. № 4. С. 31-37. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-4-31-37.
12. Camp, R. (1989). The search for industry best practices that lead to superior performance. Productivity Press. 328 p.