

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

СПУТНИКОВАЯ ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ ИСКИТИМА В 2013–2020 ГОДАХ

© 2022 г. Н. В. Родионова*

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал,
Фрязино, Московская обл., Россия*

**E-mail: rnv@ire.rssi.ru*

Поступила в редакцию 14.07.2021 г.

В статье рассматривается использование мультиспектральных данных спутников Landsat 8, Sentinel 2, Aqua и Terra для мониторинга окружающей среды в районах открытых угольных разрезов в Искитимском районе Новосибирской области за период 2013–2020 гг. Показана динамика изменения значений коэффициента отражения (КО) от поверхности и водных объектов, снежного индекса NDSI в период таяния снега, изменение NDVI в летнее время. Показана динамика изменения аэрозольной оптической толщи (АОТ), значений CO и CH₄ в атмосфере Искитимского района с использованием системы анализа и визуализации данных Giovanni. Спутниковая оценка состояния атмосферы выявила сезонные изменения аэрозольной оптической толщи с максимальными значениями в апреле и июле. Показано, что самые высокие концентрации угарного газа в атмосфере наблюдаются в зимние месяцы, а также в весенние месяцы март и апрель. Показано стабильное уменьшение концентрации угарного газа в атмосфере за 7 лет с 2014 по 2020 г. с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.95$ и увеличение концентрации метана с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.89$.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, мультиспектральные данные, коэффициент отражения, угольные разрезы, загрязнение поверхности и атмосферы

DOI: 10.31857/S0205961422020087

ВВЕДЕНИЕ

Добыча угля открытым способом, его перегрузка и транспортировка оказывают негативное влияние на окружающую среду, загрязняя поверхность и воздух выбросами твердых веществ в виде угольной и неорганической пыли, угольной золы и сажи. Более активная добыча угля является причиной техногенных землетрясений из-за перемещения горных пород (<https://ngs.ru/text/gorod/2020/09/28/69479455/>). За последние 10 лет частота землетрясений в Новосибирской области возросла, это напрямую связано с активной добычей угля. Одно из последних землетрясений произошло в сентябре 2020 г. в окрестности Колыванского угольного разреза (УР) близ села Усть-Чем.

Спутниковые снимки позволяют оценить площадь и степень загрязнения территорий, прилегающих к угледобывающим предприятиям, в основном, это касается периода снеготаяния.

В данной работе проведен спутниковый мониторинг загрязнения снежного покрова в Искитимском районе Новосибирской области вблизи Колыванского и Восточного УР и в окрестностях

Новосибирского электродного завода в поселке Линево с использованием мультиспектральных данных со спутников Landsat 8 (L8) и Sentinel 2 (S2) с целью определения динамики изменения значений КО от поверхности, индекса снега NDSI в период снеготаяния и вегетационного индекса NDVI в летнее время за период 2013–2020 гг. В работе также проводится оценка загрязнения атмосферы на основе использования данных спутников Terra/Aqua. Рассматривается сезонная и межгодовая изменчивость значений АОТ, CO и CH₄ в Искитимском районе с использованием системы анализа и визуализации данных Giovanni (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov>).

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходных используются снимки Landsat 8 OLI C2 L2 с радиометрической калибровкой и атмосферной коррекцией, бесплатный доступ к которым можно получить, к примеру, посредством сервиса EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Используемые каналы (B2–B7) каждого снимка были преобразованы из значе-

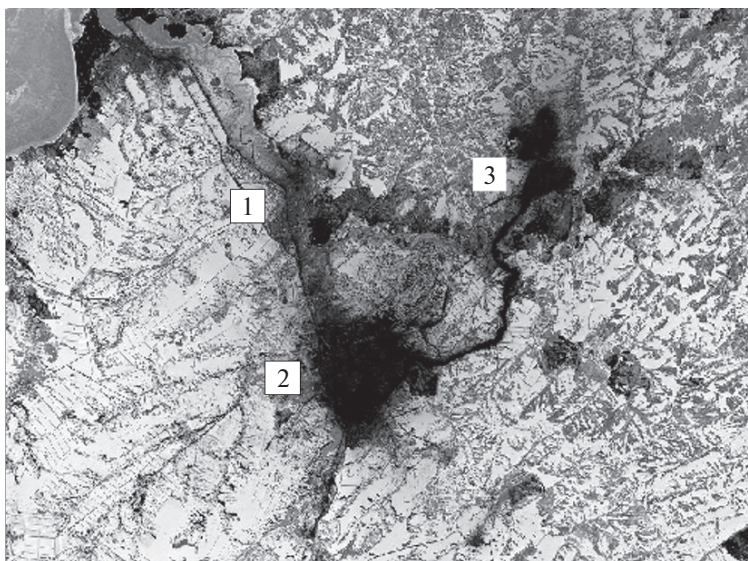


Рис. 1. S2 изображение Искитимского района, канал В4, дата 02.04.2020.

ний яркости DN в значения отражательной способности подстилающей поверхности. Пространственное разрешение для мультиспектральных каналов составляет 30 м. Использованы безоблачные снимки начала апреля (таяние снега) и лета (июль—август) 2013—2020 гг.

В работе также использованы мультиспектральные данные Sentinel 2 с высоким временным, пространственным и спектральным разрешением. В мультиспектральной камере 13 каналов с разным пространственным разрешением от 10 до 60 м. Использовались данные съемочной системы S2 с уровнем обработки L2A в виде альbedo на нижней границе атмосферы (с атмосферной коррекцией). Обработка данных S2 осуществлялась с помощью программы SNAP (<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes/sentinel-1>). Снимки S2 использовались в случаях, когда отсутствовали или были покрыты облаками снимки L8.

Для анализа загрязнения атмосферы использовался онлайн-инструмент визуализации и анализа данных НАСА Годдарда Giovanni (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov>), позволяющий делать сравнение и анализ больших объемов данных дистанционного зондирования (ДЗ) (NASA MODIS (Terra и Aqua), ESA MERIS (ENVISAT)) без пользовательской загрузки.

Территория исследования расположена в Искитимском районе Новосибирской области (Восточная Сибирь). Искитимский район — территория с высокой техногенной нагрузкой. Есть несколько угольных бассейнов с открытой добычей угля, цементный завод (Искитим), Новосибирский электродный завод (поселок Линево), сырьевой базой для которого являются месторождения антрацита. Все это, а также все процессы,

связанные с эксплуатацией угольных шахт, транспортировкой угля, приводит к негативным последствиям для природной среды.

На рис. 1 показана область исследования на снимке S2, канал В4, дата съемки 02.04.2020, с характерным видом загрязнения снежного покрова в районе Искитима (1), Линево (2), Колыванского и Восточного УР (3), Ургунского, Горловского УР и автомобильных дорог, по которым транспортируется уголь. В верхней левой части снимка виден фрагмент Обского водохранилища.

СПУТНИКОВАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В работе (Purkis, Klemas, 2011) показано, что минимальный временной интервал для изучения техногенного воздействия добычи полезных ископаемых на окружающую среду составляет 5 лет.

Мониторинг снежного покрова в период снеготаяния

Для оценки уровня загрязнения поверхности в зимне—весенний период используется оценка загрязнения снежного покрова в период снеготаяния. Снежный покров, обладающий кумулятивным эффектом, позволяет получить реальную суммарную величину выпадений загрязняющих веществ (ЗВ). Критерием оценки являются отражательные характеристики снежного покрова в различных спектральных каналах и индексы снега, одним из которых является индекс NDSI (нормализованный разностный индекс снега) (Hall et al., 1995), определяемый как $NDSI = (GREEN - SWIR1)/(GREEN + SWIR1)$.

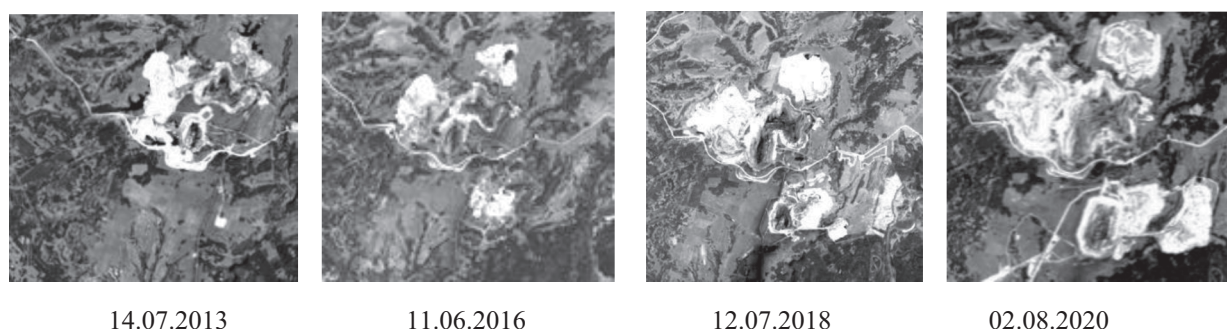


Рис. 2. Динамика изменения территорий Колыванского и Восточного УР с 2013 по 2020 годы по данным L8.

Порогом для идентификации снега является значение $NDSI \geq 0.4$ (Hall et al., 1995).

Сравним коэффициент отражения (КО) от снежного покрова и значения NDSI вблизи Колыванского УР (рис. 1, (3)) и п. Линево (рис. 1, (2)) в 2013 и 2020 гг.

Территория угольных шахт в районе Колыванского УР увеличилось с 2013 по 2020 г. (рис. 2).

На рис. 3 показаны графики изменения коэффициента отражения и значения NDSI вдоль профиля в районе Колыванского и Восточного УР в период снеготаяния за 09.04.2013 (L8) (рис. 3, верхний ряд) и 02.04.2020 (S2) (рис. 3, нижний ряд). Профиль состоит из 14 точек. По оси абсцисс отложено расстояние в км от “нулевой точки” (значение 0 км соответствует точке с координатами $54^{\circ}39'47''$ N, $83^{\circ}37'30''$ E, вблизи дороги к УР). Значение NDSI для всех точек профиля 2013 года больше 0.5, т.е. в этих точках идентифицирован снег. Для 2020 года снег не идентифицирован для точек профиля до 2.5 км в направлении к Усть-Чему (от 0 точки) и порядка 1.2 км (от 0 точки) в западном направлении.

Загрязнение снега в районе поселка Линево связано с работой Новосибирского электродного завода (НЭЗ). Выносы пыли от высотных труб НЭЗ, производств по переработке угля, карьерных работ, технологической трассы в окрестностях НЭЗ являются основными источниками загрязнения в районе п. Линево. На рис. 4 приведены графики изменений КО и NDSI за 9 апреля 2013 г. (L8) ((верхний ряд) и 2 апреля 2020 г. (S2) (нижний ряд) вдоль профиля из 8 точек, проходящего через Линево. По оси абсцисс отложено расстояние в км от “нулевого километра” (значение 0 км соответствует точке с координатами $54^{\circ}31'15''$ N, $83^{\circ}24'05''$ E, вблизи НЭЗ). Зона отсутствия снега в 2020 г. относительно 2013 г. практически не изменилась в направлении на запад от 0 точки, в то же время расширилась в восточном направлении на 4–5 км.

Мониторинг изменений NDVI

Для оценки состояния растительности используются интегральные характеристики, выраженные в виде вегетационных индексов (ВИ). Основой для выбора ВИ является особенность кривых отражательной способности растительности, а именно, в красной области спектра (RED) отмечается максимум поглощения солнечного излучения хлорофиллом, в ближней инфракрасной (NIR) максимум отражения энергии клеточной структурой листа. В результате для количественной оценки плотности фитомассы наиболее распространено использование нормализованного разностного индекса $NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$.

Техногенные факторы, связанные с открытым способом угледобычи, оказывают негативное влияние на растительный покров. Загрязнения атмосферы, почвы, водной среды и др. являются факторами нарушения роста и развития растительности.

В данной работе проведено сравнение значений КО и NDVI для профиля в п. Линево по данным L8 для летнего периода времени для дат 30.07.2013 и 02.08.2020 (профиль тот же, что и рис. 4).

Отметим на рис. 5 локальный минимум значений КО в точке “нулевого” км (вблизи НЭЗ). Значения NDVI для всех точек профиля, кроме точки 9.2 км, для 2013 г. превосходят значения NDVI для 2020 г.

На рис. 6 показаны RGB изображения исследуемой территории для летнего периода, демонстрирующие динамику изменений значений NDVI = $(B5 - B4)/(B5 + B4)$ (каналы L8). Даты съемки 30.07.2013, 04.08.2018 и 02.08.2020 со следующей кодировкой значений NDVI: красный цвет – $NDVI < 0.4$, зеленый цвет – $NDVI > 0.7$, синий цвет – $(NDVI \geq 0.4) \text{ and } (NDVI \leq 0.7)$. Прослеживается тенденция с 2013 по 2020 г. увеличения территорий со значениями $NDVI < 0.7$.

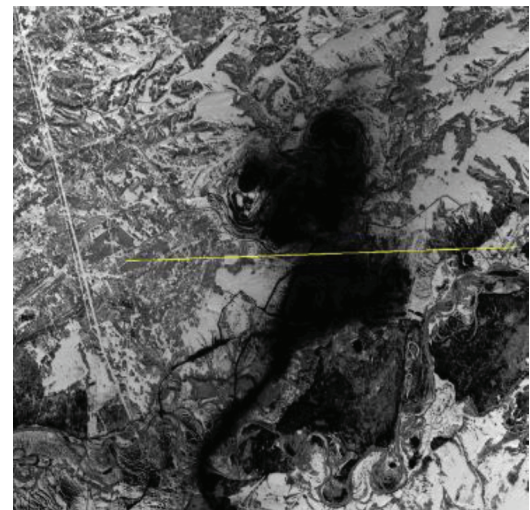
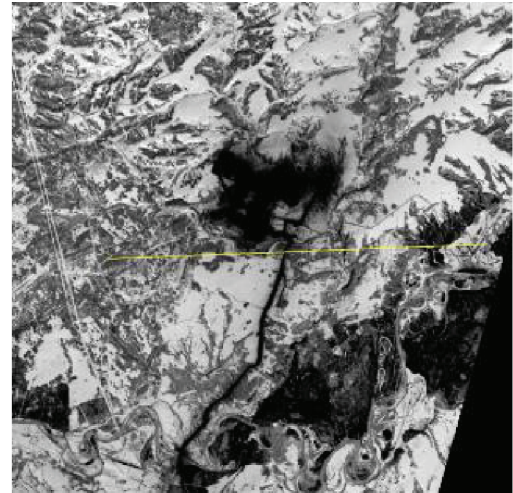
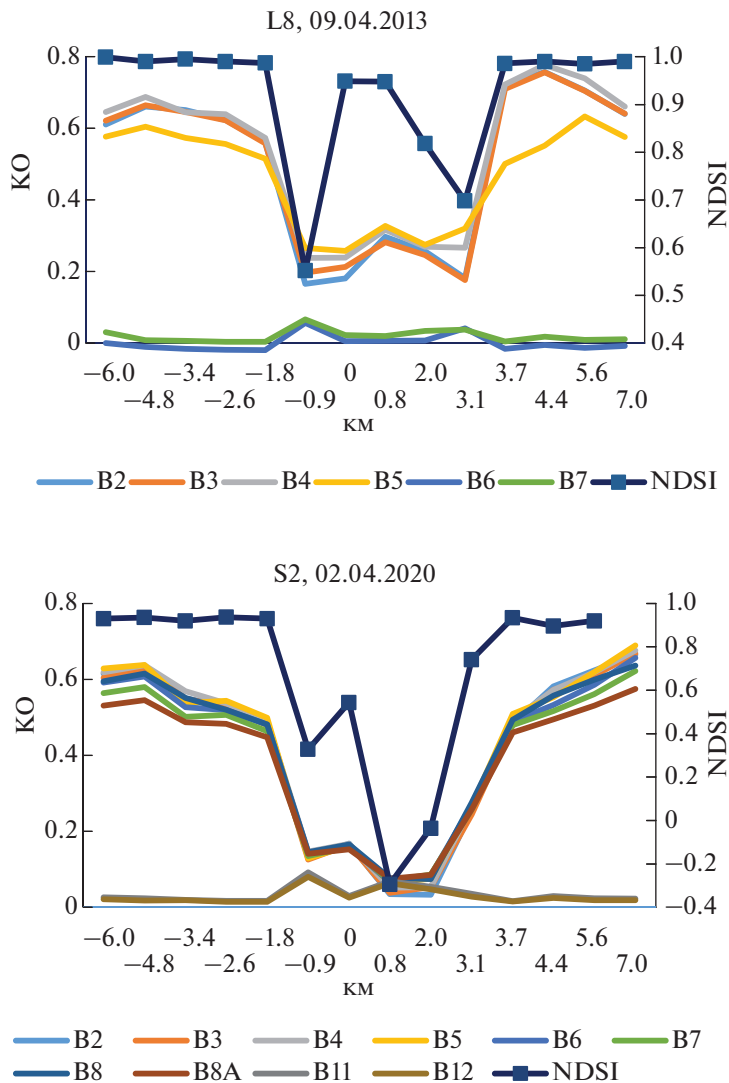


Рис. 3. Графики изменения КО и NDSI для профиля в районе Колыванского и Восточного УР для апреля 2013 и 2020 гг.

Мониторинг изменений коэффициента отражения от водных объектов

На рис. 7 показано изображение Landsat 8 (B5, 2.8.2020), на котором цифрами отмечены водные объекты, являющиеся предметом мониторинга в данной работе: Обское водохранилище – цифра 1, река Бердь у моста –2, река Бердь–3, озеро Линево–4, озеро Койниха–5. Спектральные кривые для длин волн каналов B2–B7 показаны на рисунке 8 для четырех дат 30.07.2013, 08.07.2014, 31.07.2019, 02.08.2020.

В работе (Опарин и др., 2014) показано, что две спектральные зоны NIR и SWIR очень чувствительны к присутствию примесей в водной среде. В закрытых водоемах (озеро Линево) такие примеси оседают на дно, в то время как для водоемов с активным течением воды частицы перемешива-

ются, что вызывает скачок значений КО. Кроме того, присутствие взвешенных частиц в водной среде увеличивает КО в спектре NIR, а органических веществ в SWIR1. На графиках рис. 8 для 2013 г. наблюдаем два пика значений КО: в зеленой области спектра B3 и в NIR (B5). Первый максимум присутствует на графиках и для других дат. Увеличение КО в канале B3 связано с увеличением объема фитопланктона. Уменьшение КО в красной зоне спектра связано с поглощением хлорофилла планктоном и, следовательно, уменьшением КО в канале B4. Наименьшие вариации в каналах B2–B7 характерны для объекта 4–озеро Линево (за исключением 2013 г.). Второй максимум (канал B5) связан с наличием взвешенных примесей в водной среде. В 2013 г. значение КО для B5 в три и более раз превышает

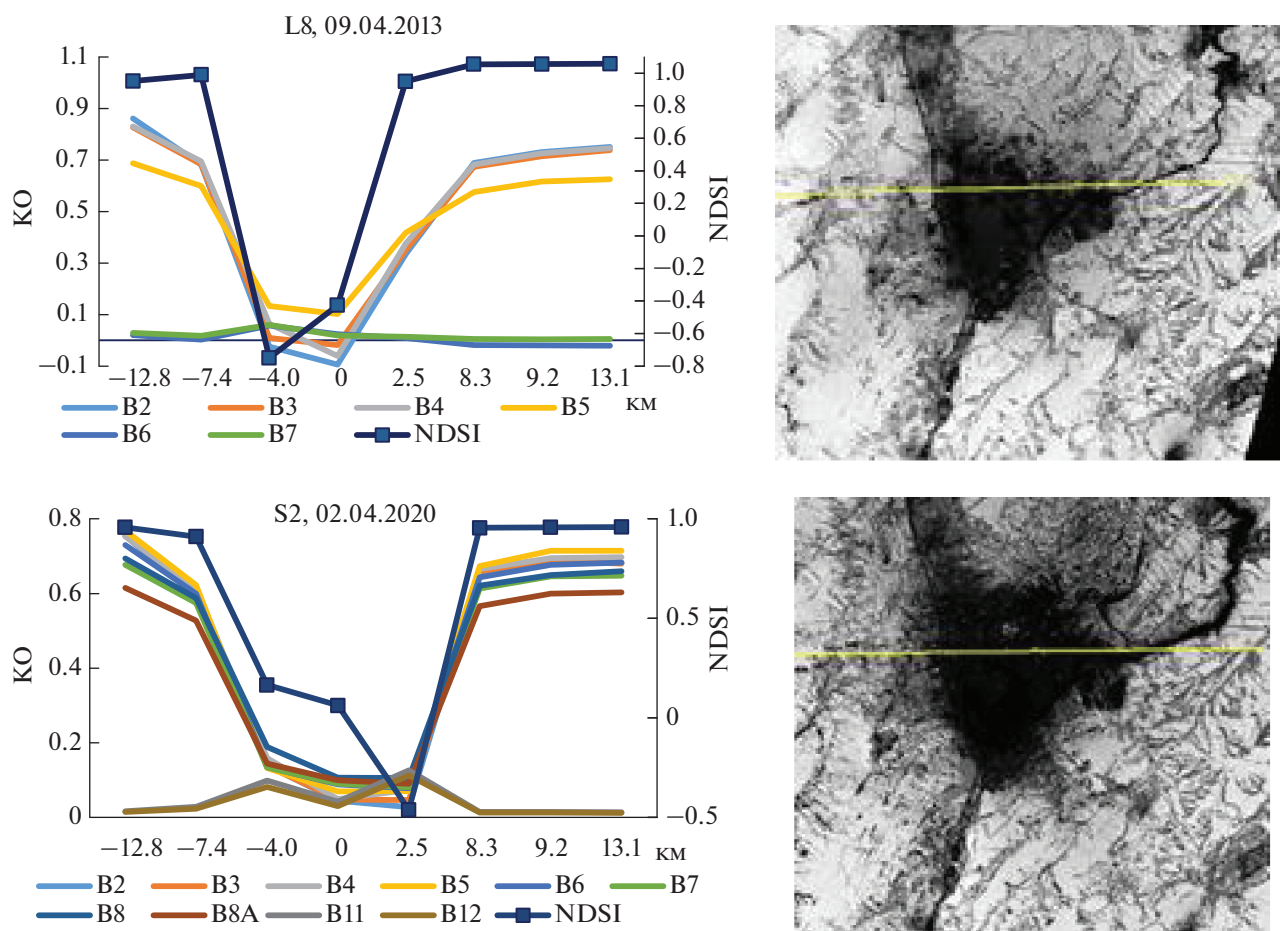


Рис. 4. Графики изменения КО и NDSI для профиля в районе поселка Линево для апреля 2013 и 2020 гг.

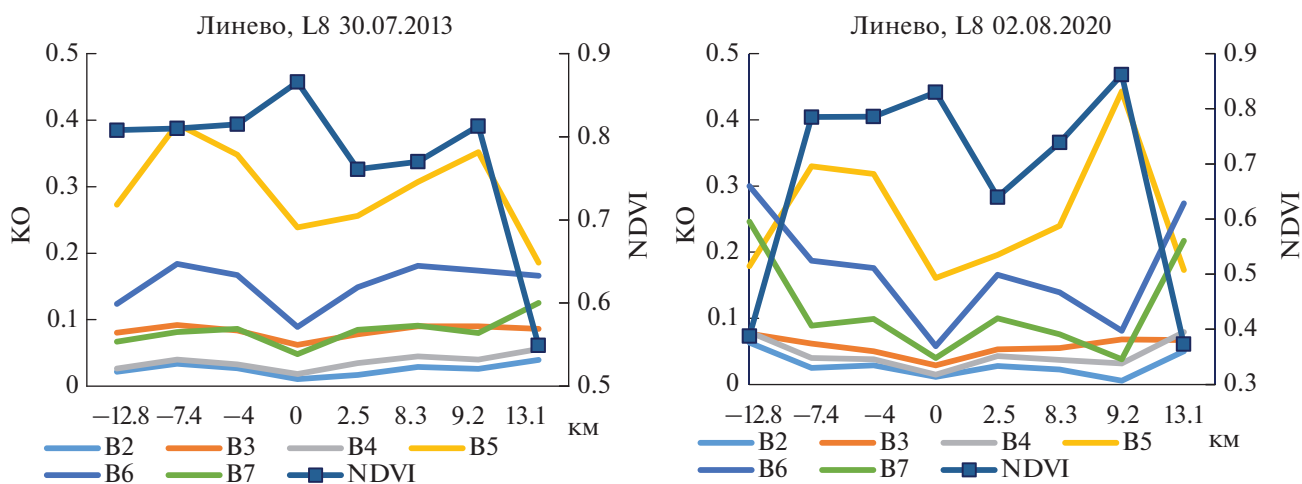


Рис. 5. Графики изменений КО и NDVI для профиля в п. Линево по данным L8.

значение КО для 2014–2020 гг. Исключением является значение КО для Обского водохранилища, для которого значения КО в канале В5 являются наименьшими в сравнении с другими водными

объектами. Второй максимум, ярко выраженный в 2013 г., постепенно сходит на нет с 2014 г., и значения КО постепенно снижаются при переходе от канала В5 к каналу В7.

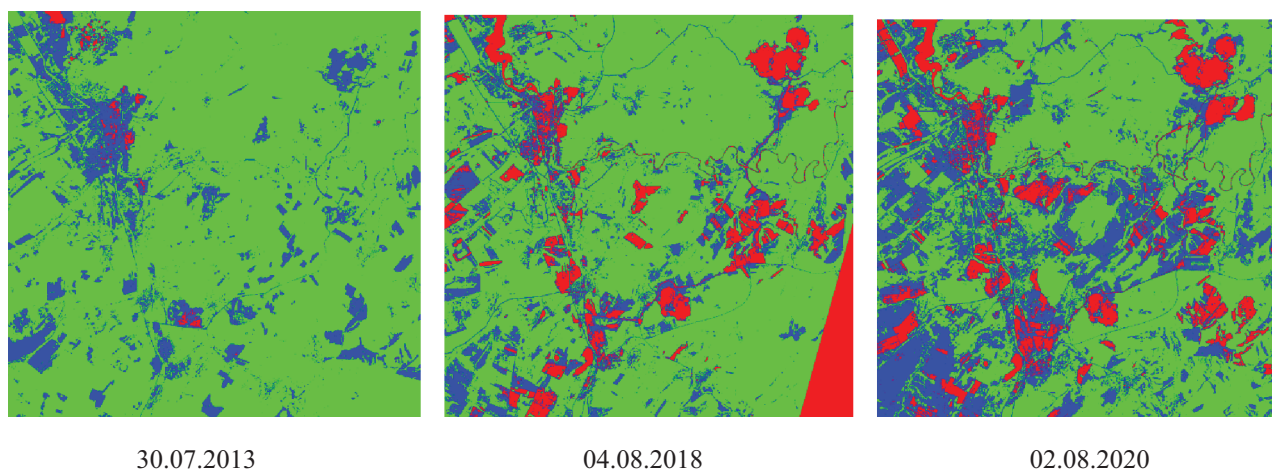


Рис. 6. RGB карты значений NDVI за 30.07.2013, 04.08.2018 и 02.08.2020.

Спутниковая оценка состояния атмосферы

Искитим входит в число городов с высоким уровнем загрязнения атмосферы (ЗА). Веществами, определяющими уровень ЗА в Искитиме, являются бенз(а)пирен, взвешенные вещества (пыль), СО-оксид углерода, NO_2/NO – диоксид/оксид азота, SO_2 – диоксид серы, сероводород и сажа. Искитим расположен в низине, что способствует скоплению в воздухе над городом вредных веществ.

В данной работе рассматривается динамика изменений за 2013–2020 гг. аэрозольной оптической толщи (АОТ), значений СО и CH_4 в Искитимском районе с помощью системы анализа и

визуализации данных Giovanni (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov>).

Сезонные и межгодовые вариации АОТ атмосферы. Среди радиационно-значимых компонентов атмосферы, наряду с парниковыми газами и облаками, важную роль играет атмосферный аэрозоль, основной оптической характеристикой которого является АОТ атмосферы. Аэрозольные частицы оказывают значительное влияние на температурный баланс атмосферы, поскольку они способны поглощать, рассеивать, отражать солнечное излучение и инициировать процессы образования облаков. Основными природными факторами, влияющими на долгосрочную изменчивость АОТ, являются извержения вулканов (Bryson, Goodman, 1980) и лесные пожары (Сакерин и др., 2008). При добыче угля открытым способом основными загрязнителями являются твердые выбросы: неорганическая пыль, угольная пыль, угольная зола и сажа. Для анализа пространственно-временных вариаций АОТ все чаще используются данные спутниковых измерений, в частности радиометра MODIS спутников Terra/Aqua.

Для оценки вариаций атмосферного аэрозоля были использованы данные уровня 3 (среднесуточные) коллекции 6.1 радиометра MODIS (ИСЗ Terra) – продукт Terra MOD08_D3 v6. 1 (Deep Blue, Land only), на длине волны 550 нм. Данные АОТ, полученные с помощью MODIS, представляют собой двумерное поле (изображение), интегрированное по высоте. Размеры отдельных элементов (пикселей) карты составляют $1^\circ \times 1^\circ$ (широта \times долгота). Были рассчитаны среднемесячные значения АОТ за период апрель–октябрь 2013–2020 гг., усредненные для области $1^\circ \times 1^\circ$ с координатами центра 54.5° N , 83.5° E , с использованием системы анализа и визуализации данных Giovanni.

На рис. 9 показан сезонный ход значений АОТ за апрель–октябрь 2013–2020 и СКО АОТ.

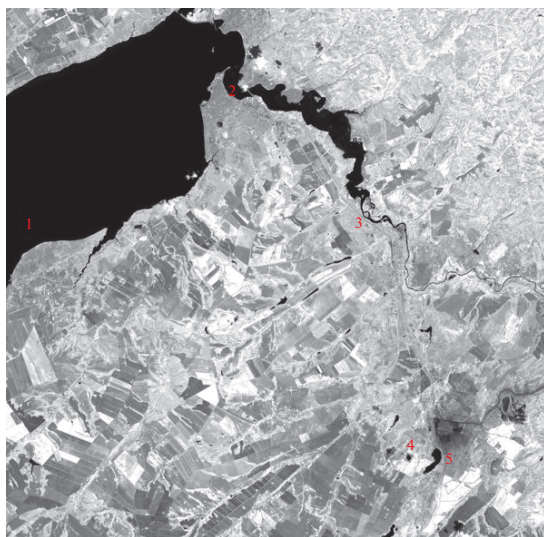


Рис. 7. Рассматриваемые водные объекты на снимке L8, дата съемки 02.08.2020: 1 – Обское водохранилище, 2 – река Бердь у моста, 3 – река Бердь, 4 – озеро Линево, 5 – озеро Койниха L8, канал В5, 02.08.2020.

L8, канал B5, 02.08.2020

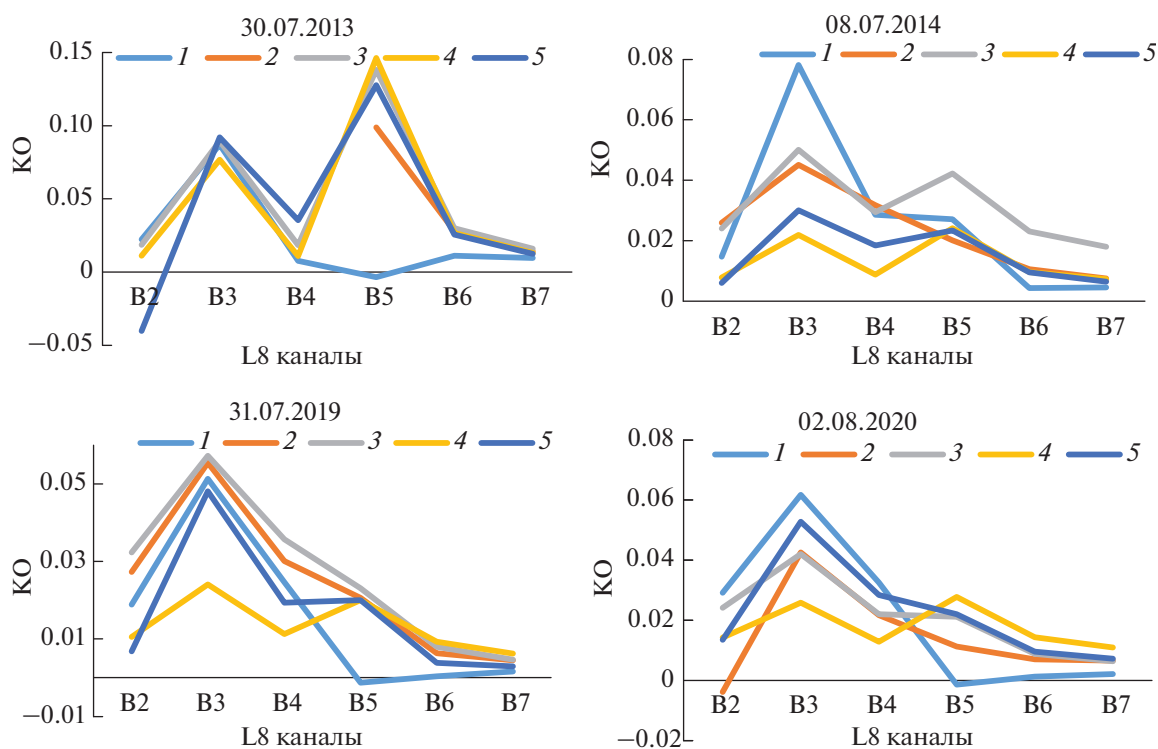


Рис. 8. Спектральные кривые для водных объектов: 1 – Обское водохранилище, 2 – река Бердь у моста, 3 – река Бердь, 4 – озеро Линево, 5 – озеро Койниха.

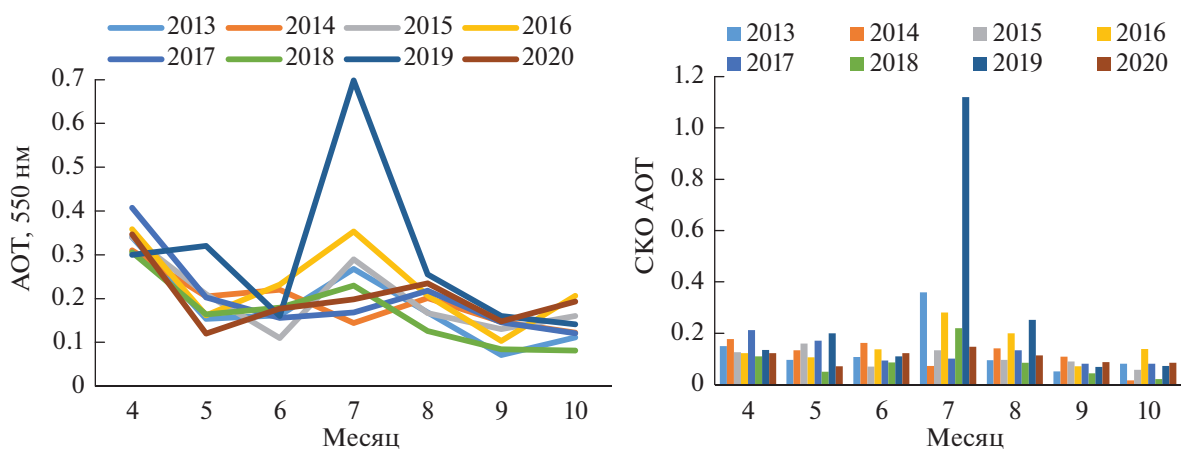


Рис. 9. Средние значения АОТ и СКО АОТ за апрель–октябрь 2013–2020 гг. для исследуемой области по данным MODIS (Terra).

Отмечаем сезонный ход АОТ с максимумом в весенне–летний период (апрель и июль) и минимумом осенью (данные за зимний период отсутствуют). Аналогичные тенденции наблюдаются и для Байкальского региона (Тацилин и др., 2021). В июле рост значений АОТ был наиболее заметен в 2019 г. Следует также отметить значительный

разброс значений АОТ в июле 2019 года. Одной из основных причин апрельского максимума АОТ в районе Искитима является выброс при таянии снега аэрозоля, накопленного в зимний период в снежном покрове. Локальный минимум в мае может быть связан с образованием свежего растительного покрова и увеличением уровня осадков,

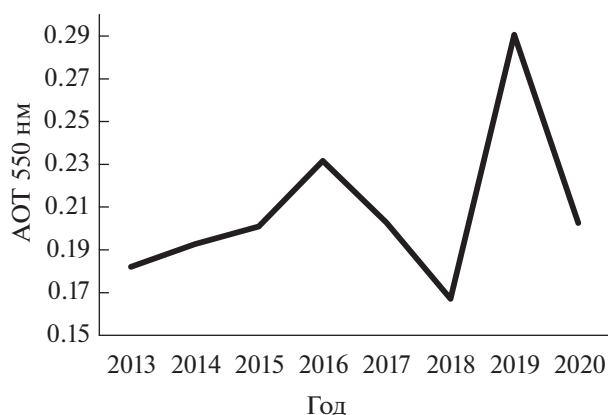


Рис. 10. Межгодовые вариации АОТ за период 2013–2020.

которые вымывают аэрозоль. Максимум АОТ в июле, скорее всего, связан с повышением температуры, снижением влажности и засухой.

На рис. 10 показан график межгодовых вариаций АОТ за период 2013–2020. Годового тренда не обнаружено. Наблюдаются большие колебания межгодовых значений АОТ. Для 2018 года среднегодовое значение АОТ близко к среднегодовому глобальному значению 0.16, полученному по спутниковым данным MODIS, TOMS, AVHRR (Chubanova et al., 2012). Для остальных дат для Искитимского региона среднегодовые значения АОТ значительно превышают среднегодовое глобальное значение и значение для Байкальского региона (данные MODIS и наземных измерений солнечных фотометров, (Тащилин и др., 2021)).

Сезонные и межгодовые вариации СО. Основными источниками СО являются сжигание ископаемого топлива, биомассы и атмосферное окисление метана и других углеводородов. Оксид углерода — это газ без цвета и запаха. СО образуется при сгорании органических видов топлива (древесины, угля, бумаги, масел, бензина и т.д.). Преобладающая часть (~90%) атмосферного СО образуется в результате природных процессов (вулканические и болотные газы, лесные и степные пожары, жизнедеятельность земной и океанической флоры и фауны). В то же время около 70% СО в атмосфере является продуктом окисления метана в тропосфере с участием радикала гидроксила (ОН). В глобальном масштабе именно атмосферный метан (который окисляется ОН) является основным источником СО в атмосфере. В крупных городах и промышленных регионах перевес может быть на стороне СО, непосредственно выбрасываемого из антропогенных источников. Сотни миллионов тонн СО ежегодно попадают в атмосферу в результате деятельности человека: автотранспорта, железнодорожного и морского транспорта; неисправности газопроводов и газового оборудования; металлургии, хими-

ческой промышленности, добычи угля, производства табака, хлеба, легкой промышленности; переработки отходов; сжигания топлива в быту. В промышленности СО образуется в результате неполного окисления природного газа или газификации угля и кокса. СО попадает в атмосферный воздух при любом типе горения. В городах СО попадает в воздух, главным образом, в составе выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания. СО имеет продолжительное время жизни — около месяца (Дерюгина, 2017).

Для исследования вариаций содержания СО в атмосфере использовались ежедневные (дневные) данные продукта AIRS/Aqua (продукт AIRS3STM v006), усредненные по области 54°–55°, 83°–84° Е. На рис. 11, а показаны среднемесячные значения концентрации СО, а на рис. 11, б значения СКО СО за период 2013–2020 годов. Характерным в поведении графиков для всех 8 лет с 2013 по 2020 г. является: 1) самые высокие концентрации СО в зимние месяцы, а также в весенние месяцы март и апрель, 2) самые низкие концентрации СО в летние месяцы.

На рис. 12 показаны среднегодовые концентрации СО за 2014–2020 гг. Усреднение проводилось за 11 мес. (не вошел июль месяц из-за отсутствия данных за 2013–2018 гг.). В график не вошли данные за 2013 г., поскольку, помимо июля, для этого года нет данных за май. Линия тренда с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.95$ указывает на стабильное снижение концентрации СО в течение 7 лет с 2014 по 2020 г. В 2014 г. среднегодовая концентрация СО составляла $0.145 \text{ ppm} = 0.168 \text{ mg m}^{-3}$. Среднегодовое значение на 2020 г. составляет $0.136 \text{ ppm} = 0.158 \text{ mg m}^{-3}$. Среднесуточная ПДК (предельно допустимая концентрация) СО равняется ПДК_{сс} = 0.05 mg m^{-3} , а максимальная разовая ПДК_{мр} = 0.15 mg m^{-3} (<https://vozdyx.ru/article/pdk-vrednyx-veshhestv-v-atmosfernom-vozduxe/>).

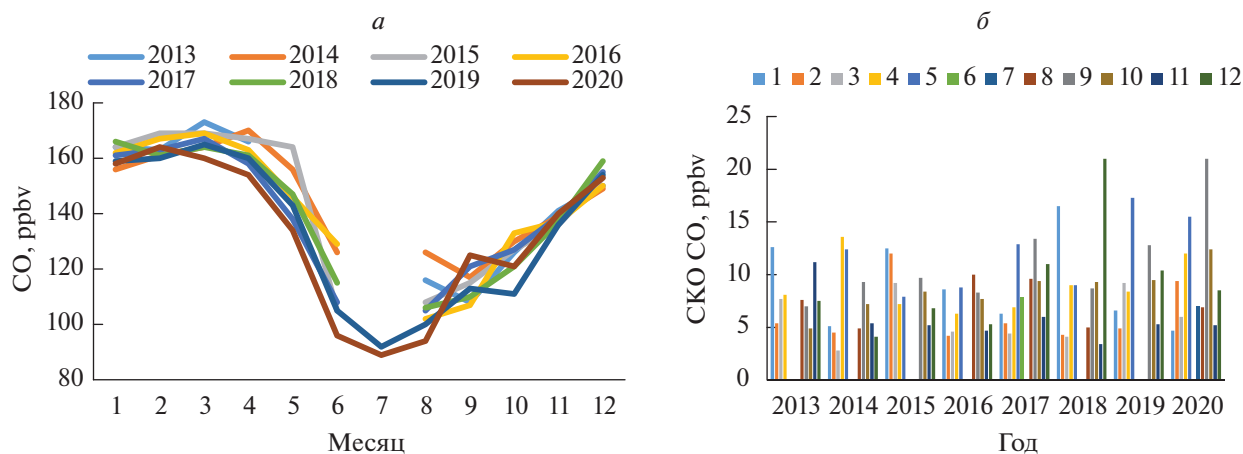


Рис. 11. Среднемесячные изменения концентрации угарного газа, усредненные для области 54° – 55° N, 83° – 84° E.

Сезонные и межгодовые вариации CH_4 . Метан попадает в атмосферу в результате как природных, так и антропогенных процессов. Основным естественным источником выбросов метана в атмосферу являются водно-болотные угодья. Метан образуется в основном в результате деятельности бактерий, участвующих в разложении органического вещества. Поэтому основными местами образования метана являются болота, мусорные свалки и т.д. Кроме того, метан выделяется через трещины в земной коре на дне водоемов, при добыче полезных ископаемых и при сжигании лесов. Антропогенными источниками метана в атмосфере являются производство энергии из угля и природного газа, свалки, очистные сооружения, сельское хозяйство (переработка навоза), рисоводство и сжигание биомассы. Метан выделяется в процессе производства и транспортировки угля, природного газа и нефти. После выброса метан остается в атмосфере примерно 10 лет, после чего он удаляется в основном путем химического окисления в тропосфере. Основным

механизмом удаления метана из атмосферы является его окисление в верхних слоях атмосферы гидроксильным радикалом OH, который образуется под воздействием солнечного света из озона и водяного пара.

На рис. 13 показаны графики сезонных и межгодовых вариаций значений концентрации CH_4 по среднемесячным (дневным) данным инфракрасного спектрометра AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), установленного на спутнике EOS AQUA (продукт AIRS3STM v.7.0). Это карты распределений метана с разрешением $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ на барической высоте 1000 гПа, доступные по ссылке (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov>). В продукте есть пропуск данных для июля месяца.

Согласно рис. 13, локальные максимумы концентрации метана наблюдались в марте, августе и октябре. Спад значений отмечен в апреле–мае и в зимние месяцы. Среднее значение СКО равно порядка 31 ppb. Известно, что средняя концентрация CH_4 в атмосфере составляет 1.86 ppm (Репи-

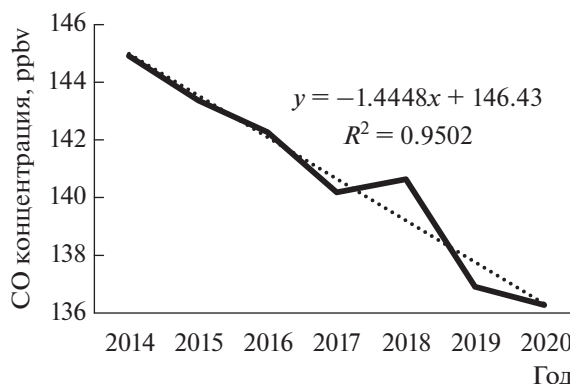


Рис. 12. Среднегодовые значения концентрации CO за 2014–2020 с линией тренда.

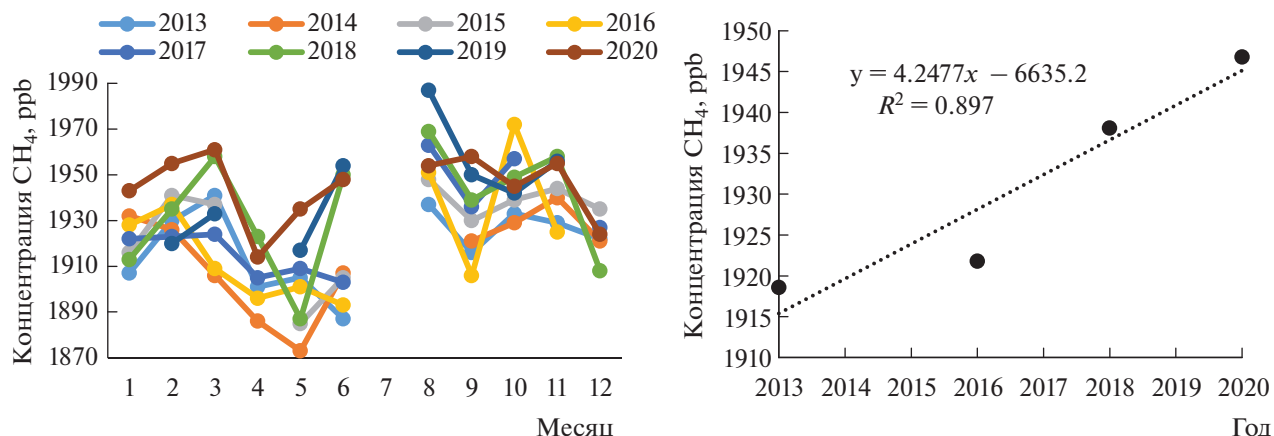


Рис. 13. Сезонные и межгодовые вариации концентрации метана для 2013–2020 гг.

на, 2015). Концентрация метана над исследуемой территорией превышает среднее значение для атмосферы. График межгодовых значений концентрации CH_4 построен при усреднении значений за 10 мес. (январь–июнь, август–ноябрь). Линия тренда с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.89$ указывает на устойчивый рост концентрации метана за период 2013–2020.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным спутникового мониторинга Искитимского района с высокой техногенной нагрузкой за период 2013–2020 гг. в экологии региона намечились следующие изменения. Зона грязного снега расширилась на восток на 3–5 км в районе Линево и в районе Колыванского и Восточного УР за отмеченный период. Показана динамика снижения значений вегетационного индекса NDVI. Показано сезонное изменение АОТ с максимальными значениями в апреле и июле. В 2018 г. среднее значение АОТ близко к среднегодовому глобальному значению 0.16. Для остальных дат для Искитимского региона среднегодовое значение АОТ значительно превышает среднегодовое глобальное значение. Показано, что самые высокие концентрации угарного газа в атмосфере наблюдаются в зимние месяцы, а также в весенние месяцы март и апрель. Летние месяцы характеризуются самыми низкими концентрациями CO . Показано стабильное уменьшение концентрации угарного газа в атмосфере за 7 лет с 2014 по 2020 г. с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.95$ и увеличение концентрации метана с коэффициентом детерминации $R^2 = 0.89$.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН по теме 0030-2019-0008 “Космос”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дерюгина А.Б. Анализ локальных измерений концентрации CO в г. Петергоф. 2017. [rid_8cfe04d7c0304f5587627e49f20d451a.PDF](https://rshu.ru/rid_8cfe04d7c0304f5587627e49f20d451a.PDF) (rshu.ru).
- Опарин В.Н., Потапов В.П., Гиниятуллина О.Л. О комплексной оценке состояния окружающей среды по данным дистанционного зондирования Земли в регионах с высокой техногенной нагрузкой // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 6. С. 199–209.
- Репина И. Дистанционные исследования концентраций и потоков метана в атмосфере. http://d33.info-space.ru/d33_conf/tarusa2015/07.pdf.
- Сакерин С.М., Горбаренко Е.В., Кабанов Д.М. Особенности многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы и оценки влияния различных факторов // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21. № 7. С. 625–631.
- Тащилин М.А., Яковлева И.П., Сакерин С.М. Пространственно-временные вариации аэрозольной оптической толщины в Байкальском регионе // Соврем. пробл. дистанц. зондир. Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 1. С. 219–226.
- Bryson R.A., Goodman B.M. Volcanic activity and climatic changes // Science. 1980. V. 207. P. 1041–1044.
- Chubarova N., Nezval Ye., Sviridenkov M., Smirnov A., Slutsker I. Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 // Atmospheric Measurement Techniques. 2012. V. 5. P. 557–568.
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data // Remote Sens. Environ. 1995. V. 54(2). P. 127–140.
- Purkis S., Klemas V. Remote sensing and global environmental change. UK, USA: Wiley-Blackwell, 2011.

Satellite Assessment of Some Environmental Parameters in the Area of the Iskitim Coal Mines in 2013–2020

N. V. Rodionova

Institute of Radioengineering and Electronics, RAS, Fryazino, Moscow Region, Russia

The article discusses the use of multispectral data from Landsat 8, Sentinel 2, Aqua and Terra satellites for environmental monitoring in the areas of open-pit coal mines in the Iskitim district of the Novosibirsk region for the period 2013–2020. The dynamics of changes in the values of the reflection coefficient from the surface and water bodies, the snow index NDSI during the snow melting period, and the change in NDVI in summer are shown. It is obtained the dynamics of changes in the aerosol optical thickness (AOT), CO and CH₄ values in the atmosphere of the Iskitim district using the Giovanni data analysis and visualization system. A satellite assessment of the state of the atmosphere revealed seasonal changes in the AOT with maximum values in April and July. It is shown that the highest concentrations of carbon monoxide in the atmosphere are observed in the winter months, as well as in the spring months of March and April. A stable trend of decreasing CO values in the atmosphere for 7 years from 2014 to 2020 with a determination coefficient of $R^2 = 0.95$ has been revealed. A stable trend of increasing in the concentration of methane in the atmosphere with a determination coefficient of $R^2 = 0.89$ is shown.

Keywords: remote sensing, multispectral images, coal mine, surface and air pollution

REFERENCES

- Bryson R.A., Goodman B.M. Volcanic activity and climatic changes // *Science*. 1980. V. 207. P. 1041–1044.
- Chubarova N., Nezval Ye., Sviridenkov M., Smirnov A., Slutsker I. Smoke aerosol and its radiative effects during extreme fire event over Central Russia in summer 2010 // *Atmospheric Measurement Techniques*. 2012. V. 5. P. 557–568.
- Deryugina A.B. Analiz lokal'nyh izmerenij koncentracii CO v g. Peterhof [Analysis of local measurements of CO concentration in Peterhof]. 2017. (In Russian) [rid_8cfe04d7c0304f5587627e49f20d451a.PDF](https://doi.org/10.26907/2541-7746.2017.01.008) (rshu.ru).
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V. Development of methods for mapping global snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data // *Remote Sens. Environ.* 1995. V. 54(2). P. 127–140.
- Oparin V.N., Potapov V.P., Giniyatullina O.L. O kompleksnoj ocenke sostoyaniya okruzhayushchej sredy po dannym distancionnogo zondirovaniya Zemli v regionah s vysokoj tekhnogennoj nagruzkoj [On a comprehensive assessment of the state of the environment according to remote sensing of the Earth in regions with high anthropogenic load] // *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopnyh*. 2014. № 6. P. 199–209. (In Russian)
- Purkis S., Klemas V. Remote sensing and global environmental change. UK, USA: Wiley-Blackwell, 2011. *Repina I.* Distancionnye issledovaniya koncentracij i potokov metana v atmosfere [Remote studies of methane concentrations and fluxes in the atmosphere]. (In Russian) http://d33.infospace.ru/d33_conf/tarusa2015/07.pdf.
- Sakerin S.M., Gorbarenko E.V., Kabanov D.M. Osobennosti mnogoletnej izmenchivosti aerol'noj opticheskoy tolshchiny atmosfery i ochenki vliyaniya razlichnyh faktorov [Features of long-term variability of the aerosol optical thickness of the atmosphere and assessment of the influence of various factors] // *Optika atmosf. i okeana*. 2008. V. 21. № 7. P. 625–631. (In Russian)
- Tashchilin M.A., Yakovleva I.P., Sakerin S.M. Prostranstvenno-vremennye variacii aerol'noj opticheskoy tolshchi v Bajkal'skom regione [Spatio-temporal variations of the aerosol optical thickness in the Baikal region] // *Sovrem. probl. distanc. zondir. Zemli iz kosmosa*. 2021. V. 18. № 1. P. 219–226. (In Russian)