

三江平原污染源遥感解译研究

霍元喜¹, 郭令芬¹, 王少华^{2,3}

¹哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省自然资源调查院, 黑龙江 哈尔滨

³中国地质调查局东北地质科技创新中心, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2026年2月12日; 录用日期: 2026年3月12日; 发布日期: 2026年3月23日

摘要

三江平原作为我国重要的粮食生产基地和生态功能区, 其地表水环境质量直接关系到区域生态安全和农业可持续发展。但随着农业活动的扩大及工业化进程的推进, 各类污染源大量排放, 导致区域水质恶化, 严重威胁生态系统稳定与可持续发展。本研究利用遥感(RS)与地理信息系统(GIS)技术, 以2022年QuickBird、SPOT-5和RapidEye遥感影像为核心数据源, 建立不同分辨率数据遥感解译标志, 结合实地核实验证, 对三江平原区域地表水环境评价关键专题因子进行精准解译与定量提取, 系统分析区域内矿业活动、垃圾填埋场、加油站等主要污染源的分布规律与污染特征。结果显示, 三江平原矿区环境污染以水体污染和固体废弃物污染为主, 水体污染集中分布于鹤岗煤矿区; 露天垃圾场分布相对集中, 主要集聚于佳木斯市区、密山市与饶河县境内; 加油站主要分布在城镇周边及交通干线附近。为三江平原地表水环境管控、污染源综合治理与湿地生态安全保障提供了关键专题因子数据基础。

关键词

三江平原, 遥感解译, 地表水, 污染源

Research on Remote Sensing Interpretation of Pollution Sources in Sanjiang Plain

Yuanxi Huo¹, Lingfen Guo¹, Shaohua Wang^{2,3}

¹College of Geographic Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

²Natural Resources Survey Institute of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

³Northeast Geological S&T Innovation Center of China Geological Survey, Shenyang Liaoning

Received: February 12, 2026; accepted: March 12, 2026; published: March 23, 2026

Abstract

As a crucial grain production base and ecological functional zone in China, the Sanjiang Plain's

文章引用: 霍元喜, 郭令芬, 王少华. 三江平原污染源遥感解译研究[J]. 自然科学, 2026, 14(2): 229-237.

DOI: 10.12677/ojns.2026.142026

surface water quality directly impacts regional ecological security and agricultural sustainability. However, with the expansion of agricultural activities and industrialization, massive pollutant emissions have led to water quality deterioration, severely threatening ecosystem stability and sustainable development. This study employs remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) technologies, using 2022 QuickBird, SPOT-5, and RapidEye imagery as core data sources. By establishing multi-resolution interpretation markers and combining field verification, we conduct precise interpretation and quantitative extraction of key thematic factors for surface water environmental assessment in the Sanjiang Plain. The analysis systematically examines distribution patterns and pollution characteristics of major sources including mining activities, landfills, and gas stations. Results indicate that water pollution and solid waste contamination dominate the mining area, with water pollution concentrated in Hegang Coal Mine District. Open-air landfills are relatively clustered in Jiamusi City, Mishan City, and Raohe County, while gas stations are primarily located near urban areas and transportation corridors. These findings provide critical thematic factor data for surface water management, comprehensive pollution source control, and wetland ecological security in the Sanjiang Plain.

Keywords

Sanjiang Plain, Remote Sensing Interpretation, Surface Water, Pollution Source

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

三江平原位于黑龙江省东南部,与俄罗斯接壤,是由松花江、黑龙江和乌苏里江的不断迁徙和泛滥所形成的冲积平原[1],是我国重要的商品粮生产基地和重要的湿地生态系统分布区[2]。近年来,随着人口增长、农业集约化发展及工业化推进,人类活动对地表水环境干扰加剧,矿业开发、生活废弃物等污染问题凸显,部分区域水质恶化,威胁湿地生态完整性与水资源安全[3]。据监测数据显示,该区域IV类和劣V类水质河段占比高达 95.6% [4],反映出地表水污染现状。加油站作业区的冲洗水和初期的雨水冲刷等,其中的油性分子会破坏水体的自净能力,造成水体发黑发臭,从而引起地表水体污染[5]。矿物开采及化石燃料的燃烧,大量重金属通过地表径流和大气沉降等方式进入水环境,导致重金属污染[6]。矿山废水和固体废弃物直接排放会对当地地表水造成污染;一些污染物还会通过土壤、植被进入地下水,进而对地下水环境产生不利影响[7]。这些特点使得该区域水环境面临严峻挑战,潜在污染风险日益增高。然而,传统污染源调查依赖实地采样,虽能获取单点精准数据,但数据的时效性还是准确度都存在一定的局限[8]。遥感技术具有覆盖范围广、信息获取快、周期性等特点,能够为地表水环境调查提供全新的技术手段[9]。

本研究以三江平原为研究区,利用多源遥感影像,采用 RS 与 GIS 综合技术体系,解译并提取了三类与地表水环境密切相关的专题因子,即矿业活动、垃圾填埋场和加油站的分布情况,全面揭示区域污染源类型、分布特征与污染影响机制,为三江平原地表水环境管控、污染源精准治理、生态环境保护与可持续发展提供科学依据与技术支撑。

2. 研究区概况

(1) 自然地理特征

三江平原湿地是由黑龙江、乌苏里江和松花江汇流、冲积而成的低平沃土,是中国最大的淡水沼泽

集中分布区。地理坐标为 43°49'55"~48°27'40"N、129°11'20"~135°05'26"E。三江平原位于中国东北角，西起小兴安岭南端，东至乌苏里江，北自黑龙江畔，南抵兴凯湖，行政区域包括鹤岗市、佳木斯市、双鸭山市、七台河市、鸡西市，以及哈尔滨市依兰县，总面积 10.89 万 km²。该区属温带湿润、半湿润大陆性季风气候，年平均气温为 1.6℃~3.9℃，无霜期 120~140 天，年平均降水量 500~700 mm，其中 6~8 月降水量占全年的 59.8%，四季分明，冻结期长，但夏季温暖，雨热同季，适于植物的生长。

(2) 地形地貌特征

三江平原地貌类型以冲积平原为主，整体地势低平，由西南向东北倾斜，海拔高度多在 50~60 米之间，最低处仅 34 米。在地质构造上，三江平原属于同江内陆断陷盆地，基底为前古生代变质岩系，上覆厚达 200~400 米的第四纪松散沉积物。这些沉积物以砂、砂砾石为主，渗透性强，使得污染物极易通过垂直入渗进入地下水系统[10]。

3. 数据与方法

3.1. 数据来源

本研究使用的遥感数据主要包括空间分辨率 1 米的 QuickBird 数据，空间分辨率 2.5 米的 SPOT-5 数据，空间分辨率 5 米的 RapidEye 数据，获取时相为 2022 年 5 月~7 月之间，数据质量整体较好，仅局部地区有云量存在，获取的原始遥感数据质量较好，影像层次丰富、清晰。此外，还获取 1:5 万数字地形图用于几何校正；获取研究区的数字高程模型(DEM)数据，辅助影像解译与地形分析。

3.2. 工作方法

遥感数据处理采用 ERDAS 软件实现影像的波段组合、几何校正、辐射校正、大气校正、影像融合、影像裁剪等工作。根据 1:5 万遥感影像平面图制作规范，校正的误差精度控制在 0.5 个像素之内。遥感解译工作基于 ArcGIS 软件平台完成。

以遥感为主要技术手段，在充分收集三江平原已有的相关的资料和科研成果基础上，采用遥感图像处理、人机交互式解译的信息提取方法，基于遥感影像，解译提取三类与地表水环境密切相关的专题因子，即矿业活动、垃圾填埋场地及加油站等因子分布现状信息。

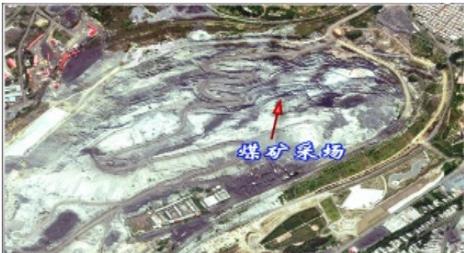
3.3. 解译标志

3.3.1. 矿业活动区解译标志

矿业开采活动占地类型包括采场、中转场地、固体废弃物(煤矸石堆、废石堆、排土场)、尾矿库等，并建立解译标志见表 1。

Table 1. Interpretation signs of mining activities

表 1. 矿业开采活动占地解译标志

类型	解译标志	遥感影像
采场 煤、岩金矿	多呈阶梯式，采矿道路发育，剥离面纵深较大，与周边环境反差明显	

续表

采石场	开采面较为陡峭，多沿山体一侧挖掘	
石墨矿	阶梯开采形态不发育，多以崩落为主	
中转场地	通常位于矿山开采集中区，无固定形状，部分中转场地有隔墙等设施。如煤堆多位于井口、采场附近，影像上呈深黑色调	
煤矸石堆	在影像上多呈灰蓝色调，圆锥状，多数沿矿山就近堆放	
排土场	主要表现为亮白色，呈倒锥形	
尾矿库	影像上色彩鲜艳，纹理细腻，通常呈褐红色、黄褐色不等	

3.3.2. 垃圾填埋场解译标志

目前,我国垃圾场的类型主要为简易填埋场、受控填埋场和卫生填埋场。简易填埋场多位于城市周边,无任何防护措施,小型的垃圾堆受影像分辨率影响,特征不明显;大型垃圾堆,体积庞大,堆放无任何规律,表面杂草丛生,影像色调以亮白色为主。受控的垃圾场具有明显的影像特征,可见垃圾场坝体,垃圾场侧壁可见蓝色的防渗层,垃圾堆呈规律性堆放。垃圾场坝体附近有看护人员居住的房屋(图 1)。

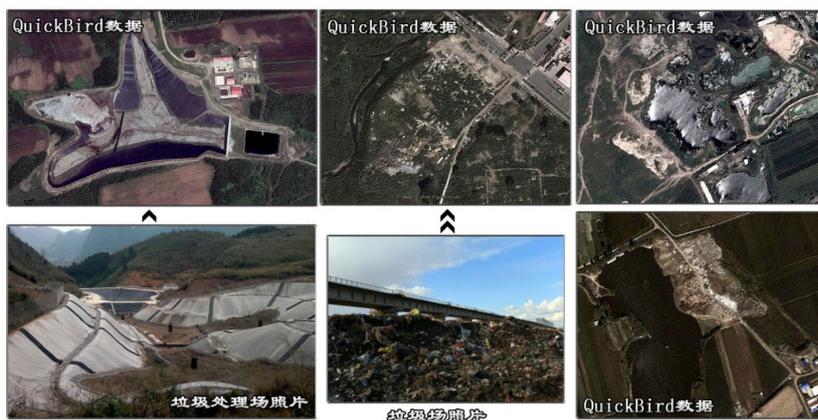


Figure 1. Landfill remote sensing interpretation sign
图 1. 垃圾填埋场遥感解译标志

3.3.3. 加油站解译标志

加油站多位于交通道路较为便利的地区,分别具有进出口。在 QuickBird 数据中可清晰的识别加油站的红色方形的顶棚,加油站的广场、等待加油的车辆及加油站。在 SPOT-5 数据中加油站面积较小,影像色调成亮白色,中间可见粉红色的方形顶棚和车辆进出口。加油站在 RapidEye 数据中特征不明显,需要结合实地验证情况进行补充(图 2)。



Figure 2. Gas station remote sensing interpretation sign
图 2. 加油站遥感解译标志

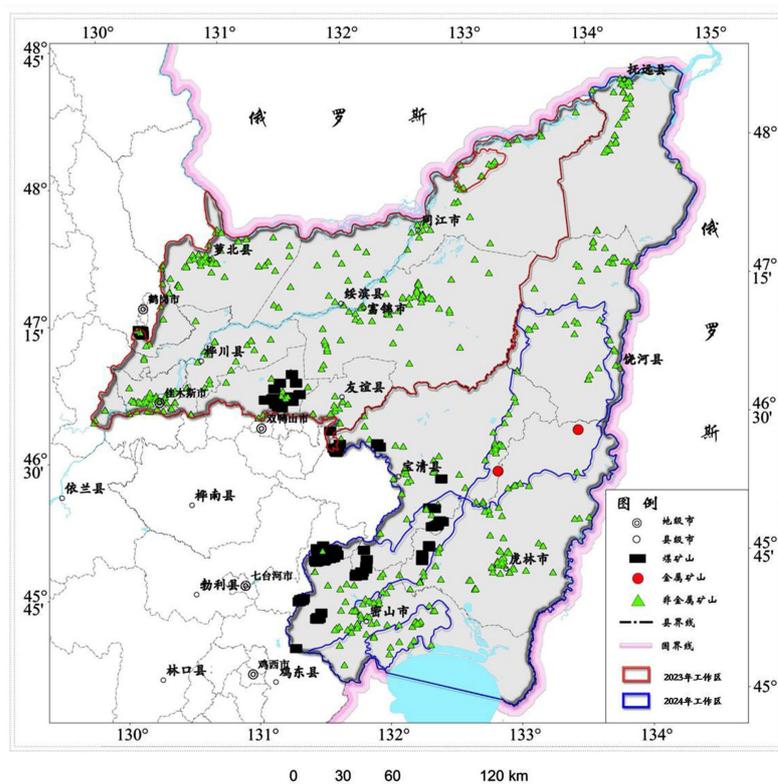
4. 结果分析

4.1. 矿业开采活动污染空间分布

该地区各类矿山共 895 个, 其中煤矿山 252 个, 铁矿山 1 个, 金矿山 1 个, 非金属矿山 641 个(图 3)。矿山占地面积共 153.1 km², 其中采场占地 38.54 km², 中转场地占地 88.32 km², 固体废弃物占地 2.36 km², 煤矸石堆占地 18.42 km², 尾矿库占地 0.51 km², 矿山建筑占地 4.93 km²。按矿种类型统计, 煤矿山占地面积占 61%, 非金属矿山占 36%, 金属矿山占 3%。三江平原内矿区环境污染类型主要包括水体污染和固体废弃物堆放污染。

经遥感调查, 共发现水体污染点 9 处, 污染水体面积为 153.09 hm²。水体污染点主要分布在鹤岗煤矿区, 且污染区域面积呈增加趋势。污染源主要包括煤矿山矿井污水、洗煤厂污水及煤矸石经雨水冲刷后汇集形成的污水。污染对象主要是小鹤立河、石头河。两河南北方向穿过鹤岗市, 周边分布众多的煤矿山及城市居民区。多数煤矿将矿井废水、选煤后污水直接排入河道当中, 造成该河流水体浑浊, 河床沉积大面积的煤渣, 水质遭到较为严重污染。

固体废弃物污染主要是煤矸石、排土场等固体废弃物任意堆放, 同时未做任何防尘、防水体冲刷等防护措施造成的次生污染。该地区共发现各类固体废弃物面积 18.42 km²。固体废弃物中含有微量的重金属元素, 在雨水长期淋滤作用下可大量溶解, 造成地表水、河流及周边土壤污染。煤矸石在雨水浸泡过程中也易形成含有大量的悬浮物、有机物等的酸性水, 对周边生态环境亦能造成污染。



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0650 号的标准地图制作, 底图无修改, 图 4、图 5 同。

Figure 3. Distribution of mines in Sanjiang Plain

图 3. 三江平原矿山分布

4.2. 垃圾填埋场污染空间分布

通过建立露天垃圾场影像解译标识结合实地验证的方式,共解译露天垃圾场 48 个,面积 65.76 hm² (图 4)。垃圾填埋场分布相对集中,主要分布在佳木斯市区,密山市和饶河县附近。其中佳木斯市共存在垃圾场 20 处,占地面积 26.1 hm²;密山市垃圾场共存在 13 处,占地面积 17.81 hm²;饶河县境内垃圾场个数为 6 个,占地面积 17.81 hm²,多为废弃的坑塘用于堆放垃圾物。

该区域垃圾主要为露天堆放,无规范卫生填埋场。露天堆放垃圾堆放腐败过程中会产生大量的酸性和碱性有机污染物,并将垃圾中的重金属溶解出来,形成有机物质、重金属和病原微生物一体的污染源,经雨水淋入产生滤液,污染地表水与地下水。致使水体黑臭、地表水浅层不能使用、水质恶化,造成水体存在氨氮、挥发酚、高锰酸盐污染、氟化物严重超标,水体丧失自净能力,加剧生态破坏。

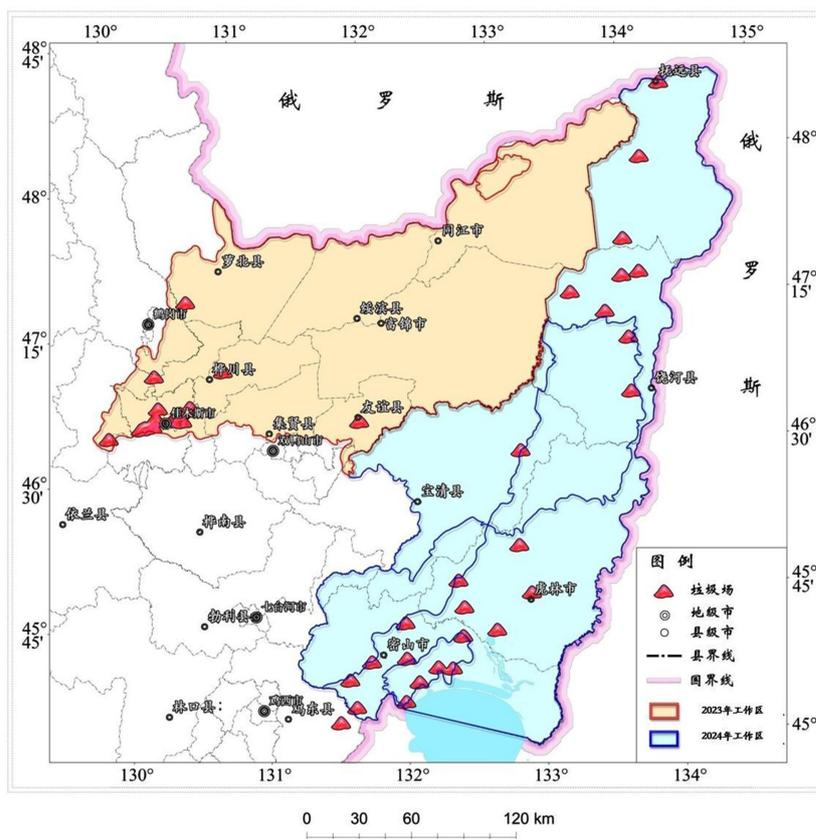


Figure 4. Distribution of garbage dumps in Sanjiang Plain
图 4. 三江平原垃圾场分布

4.3. 加油站污染空间分布

根据加油站的影像解译标识结合实地验证的方式,在该地区共解译加油站 369 个(图 5)。集中分布在地市和县级政府所在地的公路、国省道级别的公路,数量众多。加油站分布主要有以下几个特点:① 加油站数量过多,发展速度不平衡;② 分布不均衡。地市级和县级政府所在地加油站存过度集中;呈串珠状分布于高速公路、国省道级别道路上;矿业活动区域较为密集;乡镇地区加油站分布稀疏;③ 加油站的土地规模与其所处的等级不相符。加油站作为潜在污染源,其运营过程中产生的含油废水、油类挥发物及油罐泄漏等问题,均可能对周边土壤及地表水环境造成污染。

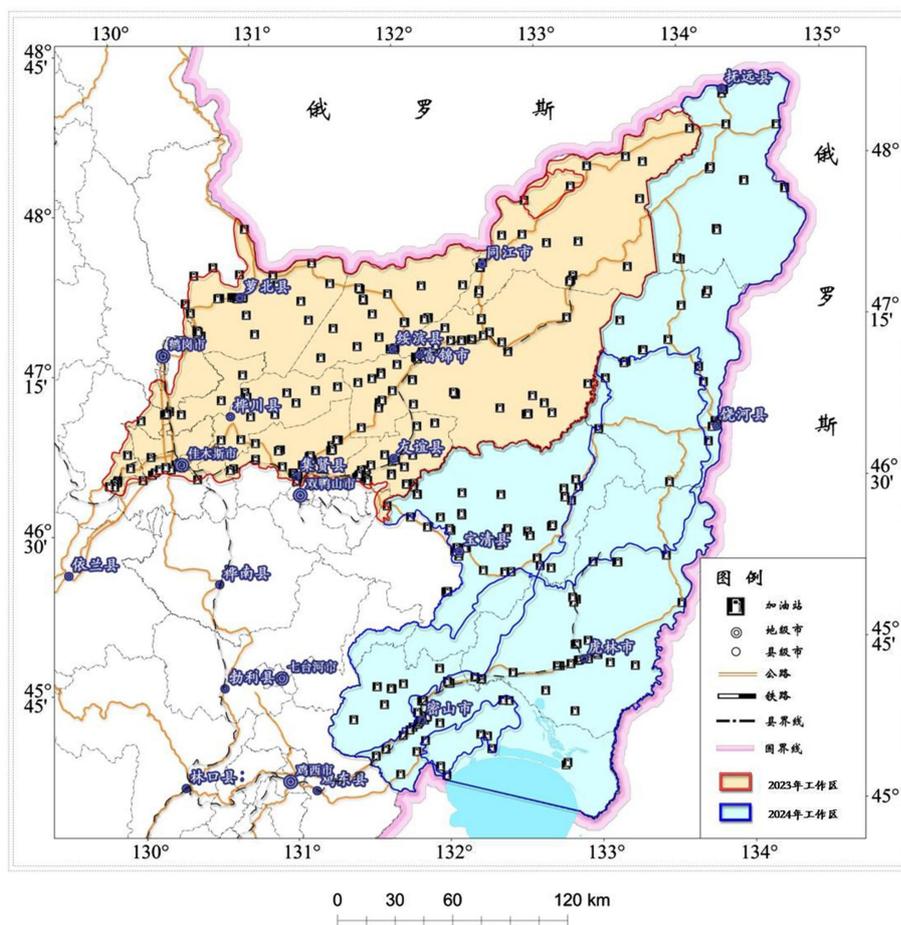


Figure 5. Distribution of gas stations in Sanjiang Plain
图 5. 三江平原加油站分布

5. 讨论

本研究利用遥感技术实现了大尺度区域地表水环境潜在污染源的快速识别和定位，弥补了传统调查方法的不足。然而，本研究也存在一定的局限性：(1) 垃圾填埋场、加油站、矿业开采活动占地部分信息无法定量评估。遥感解译能够快速有效的查明其分布位置、面积等定量信息，对污染源的污染程度无法采用遥感手段进行定量评估，需结合水文地质勘察和水质监测数据开展深入的量化分析。(2) 部分调查因子影像特征不清晰。由于垃圾场、加油站等专题多为点状目标，目标识别很大程度上依赖数据分辨率。垃圾场、加油站在优于 1 m 的高分辨率影像能够准确识别，在分辨率 2.5 m、5 m 影像上其影像特征不明显，容易造成部分解译成果的误判、漏判。要加强高分辨率遥感数据的采集工作，能够有效的提高专题因子的室内解译精度。

6. 结论

三江平原污染源空间分布规律与污染特征：① 三江平原各类矿山共 895 个，矿区环境污染以水体污染与固体废弃物污染为主，共解译 9 处水体污染点，总面积 153.09 hm²，主要集中于鹤岗煤矿区，且污染区域面积呈增加趋势；固体废弃物污染主要是防护措施造成的次生污染，面积 18.42 km²。② 解译 48 个露天垃圾场，总面积 65.76 hm²，集中分布于佳木斯市区、密山市及饶河县附近，多为露天无序堆放且

无规范卫生填埋措施,形成复合型污染并导致水体丧失自净能力。③ 解译 369 个加油站,主要沿城镇周边及交通干线分布,油品泄油、污水排放对地表水造成污染。

基金项目

由中国地质调查局东北地质科技创新中心区创基金项目(编号:QCJJ2023-37)和黑龙江省自然科学基金项目(PL2024D022)资助。

参考文献

- [1] 曾星雨, 曲艺, 张弘强, 等. 基于多源遥感影像的三江平原水域覆盖变化特征[J]. 安徽农业科学, 2025, 53(1): 76-79.
- [2] 梅显军. 近 30 年三江平原湿地时空演变及影响因素分析[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林建筑大学, 2024.
- [3] 杜绍敏, 孙晓明, 王颖. 黑龙江省三江平原水环境变化原因及分析[J]. 黑龙江水专学报, 2008, 35(4): 89-93.
- [4] Wang, S.H., Guo, L.F. and Huo, Y.X. (2025) Research on Land Use and Pollution Source Distribution in the Sanjiang Plain, China. *Journal of Physics: Conference Series*, **2941**, Article ID: 012066. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2941/1/012066>
- [5] 石岩. 加油站环境污染现状及其防治措施[J]. 清洗世界, 2022, 38(2): 179-180.
- [6] 张福祥. 三江平原典型湿地生态系统重金属污染与生态环境效应研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021.
- [7] 平措朗加, 其米多吉, 旦增罗布. 矿区水文地质勘查与环境地质评价现状及发展形势[J]. 世界有色金属, 2024(1): 157-159.
- [8] 殷绪华, 朱亮, 陈琳, 等. ArcGIS 在水源地污染源强度空间分析中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018, 46(5): 395-401.
- [9] 陈向进. 水环境监测中遥感技术的作用及应用策略探究[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(22): 27-29.
- [10] 崔虎群, 吴庭雯, 刘江涛, 等. 三江平原沼泽湿地和农田的演替过程对地下水的影响[J]. 水文地质工程地质, 2023, 50(6): 51-58.