जलविज्ञान एवं जल संसाधन
पर राष्ट्रीय संगोष्ठी
15-16 दिसम्बर, 1995, रूड़की

जल संरक्षण कार्यक्रम में अवसाद की भूमिका

अजय श्रीवास्तव[1] भोला नाथ सिंह[2]

सारांश

प्रस्तुत शोध–प्रपत्र में जल संरक्षण कार्यक्रम में अवसाद की महत्ता पर प्रकाश डाला गया है । जल ही जीवन है । लेकिन दुःख तो इस बात का है कि हमें उपलब्ध पेयजल इतना प्रदूषित हो गया है कि विश्वभर में लगभग डेढ़ करोड़ बच्चे 5 वर्ष की आयु पूरा करने के पूर्व ही कालकवलित हो जाते हैं । विश्व के निर्धन देशों में आधे से भी अधिक लोग शुद्ध पेयजल के लिए तरस रहे हैं। भारत में भी उपलब्ध जल का 90 प्रतिशत भाग अपेय है । जल को शुद्ध बनाये रखने के किसी भी कार्यक्रम में इसके भौतिक एवं रासायनिक गुणधर्मो का अध्ययन किया जाता है । परन्तु अवसाद, जो जलीय तंत्र का अभिन्न अंग है, के अध्ययन को महत्ता प्रदान नहीं की जाती है । घरेलू कूड़े–कचरों, शहरी–मलजल, औद्योगिक बहिःस्राव व उच्छिष्टों के नदी जल में प्रवेश करने के बाद उसमें उपस्थिति आविषलु धातुओं एवं हानिकारक पदार्थों का अवसाद में जमाव होता है । जलीय तंत्र में होने वाली भौतिक, रासायनिक, जैव–रासायनिक प्रक्रियाओं के परिणामस्वरूप उपर्युक्त पदार्थो का अवसाद से जल में प्रवेश सम्भव है । मुख्य प्रक्रियाएं हैं – जलीय माध्यम में लवणीय सांद्रता में वृद्धि, रेडाक्स स्थिति में परिवर्तन, पी.एच. में कमी एवं जीवाणुओं की क्रिया फलतः जल में इन पदार्थों की मात्रा में वृद्धि होती है और वह अपेय हो जाता है । अवसाद प्रदूषण मुख्यतया अनिम्नीकरणीय कार्बनिक एवं अर्काबनिक रसायनों के निक्षेपण के फलस्वरूप होता है । अवसाद से जल में आई या प्रवेश हुई धातुओं का जैव भू–रासायनिक चक्र द्वारा मनुष्य में समावेश सम्भव है । अतः जल संरक्षण के किसी भी कार्यक्रम में अवसादों के अध्ययन को भी सम्मिलित कियाजाना चाहिए ।

प्रस्तावना

जल ही जीवन है । इसके बिना जीवन की कल्पना नहीं की जा सकती । क्योंकि इसका विल्प ही कहां ? यह न केवल पीने के लिए वरन् खाद्योत्पादन, ऊर्जा उत्पादन एवं औद्योगिक क्रियाकलापों हेतु एक अनिवार्य पदार्थ है । गुणोत्तर श्रेणी में बढ़ती हुई जनसंख्या के कारण जहां एक ओर जल संसाधनों के विकास पर दबाव बढ़ता जा रहा है, वहीं दूसरी ओर से संसाधन निरन्तर प्रदूषित भी होते जा रहे हैं । घरेलू कूड़े–कचरे, सीवर मल–जल, मृत जीव जन्तुओं की लाशों, उद्योगों व कलकारखानों के द्वारा निःसृत विषैले रासायनिक पदार्थो और रेडियोधर्मी कारकों का निस्तारण जलीय माध्यमों यथा नदियों, झीलों, तालाबों और सागरों में ही कर दिया जाता है । परिणामस्वरूप जल के मानक गुणधर्मो में अप्रत्याशित परिवर्तन हुआ है एवं जलचरों की संख्या पर भी प्रतिकूल प्रभाव पड़ा है । जल में घुलित आक्सीजन (डी.ओ.) की मानक मात्रा (10 मिलीग्राम/लीटर) में कमी हुई है और साथ ही हानिकारक जैवरासायनिक आक्सीजन (बी. ओ.डी) की मात्रा (5 मिलीग्राम/लीटर से अधिक नहीं) बढ़ रही है । फलतः हमें प्रदूषित पेयजल ही उपलब्ध हैं । लगभग

1 रिसर्च ,एसोसिएट, भू–विज्ञान विभाग, काशी हिन्दू विश्वविद्यालय, वाराणसी–221 005
2 रिसर्च एसोसिएट, भू–विज्ञान प्रयोगशाला, जानपद अभियांत्रिकी विभाग, प्रौद्योगिक संस्थान, काशी हिन्दू विश्वविद्यालय, वाराणसी–221 005

80 प्रतिशत रोग प्रदूषित पेयजल के पीने से होते हैं । प्रदूषित जल के पीने से विश्व भर में लगभग डेढ़ करोड़ बच्चे 5 वर्ष की आयु पूरा करने के पूर्व ही कालकवलित हो जाते हैं, जिनमें से एक तिहाई की मृत्यु तो केवल अतिसार रोग से ही होती है । यूनीसेफ के अनुसार निर्धन देशों में लगभग एक अरब बच्चों को शुद्ध पेयजल उपलब्ध नहीं है । दुनिया की आधी आबादी (लगभग दो विलियन लोग) शुद्ध जल के लिए तरस रहे हैं । हमारे देश में भी उपलब्ध जलका 70 प्रतिशत भाग अपेय है फिर भी हम इसे पीने के लिए विवश हैं । परिणामस्वरूप प्रतिवर्ष दस्त, पेचिश, पीलिया एवं टाईफाइड से लाखों बच्चे काल के गाल में समा जाते हैं । हमारे देश में जल आपूर्ति का प्रमुख स्रोत नदियों की स्थिति अत्यन्त सोचनीय है । उत्तर में डलझील से दक्षिण में चालियार व पेरियार नदियों तक, पूरब में दामोदर से लेकर पश्चिम में थाना खाड़ी तक जल प्रदूषण की स्थिति चिन्तनीय है । संयुक्त राष्ट्रसंघ ने 1981–90 को "अन्तर्राष्ट्रीय जल आपूर्ति व स्वच्छता दशक" घोषित किया था । इस प्रस्तावित दश का उद्घाटन 10 नवम्बर, 1980 को संयुक्त राष्ट्र के महासभा के विशिष्ट रूप से बुलाये गये पूर्ण दिवसीय सत्र में किया गया । यद्यपि अनेक राष्ट्रों की सरकार ने इस दशक के लक्ष्य की प्राप्ति हेतु सकारात्मक व ठोस कदम उठाये परन्तु वांछित परिणाम प्राप्त न हो सका । "टेक्नोलाजील मिशन" के अथ प्रयास के बाद भी देश के विभिन्न हिस्सों विशेषकर ग्रामीण पर्वतीय व दूर–दराज के क्षेत्रों में शुद्ध पेयजल की आपूर्ति की समस्या मुँह बाये खड़ी है ।

पृथ्वी के सतह पर अथाह जलराशि है परन्तु शुद्ध जल तो सीमित मात्रा में है । 1.4 बिलियन क्यूबिक किलोमीटर उपलब्ध सम्पूर्ण जलराशि का मात्र 2.7 प्रतिशत भाग ही अलवण जल (फ्रेश वाटर) है । इसका अधिकांश भाग ठोसीय अवस्था में है, लगभग 77.2 प्रतिशत स्थायी रूप से हिमशीति है, 22.4 प्रतिशत भौम जल व मृदा आर्द्रता के रूप में प्राप्त होता है जबकि 0.35 प्रतिशत भाग झीलों एवं आर्द्रभूमि में है एवं 0.01 प्रतिशत से भी कम भाग नदियों एवं सरिताओं में समाहित है । यदि सम्पूर्ण सागरीय जल को आधे गैलन से निरूपित करें तो शुद्ध जल की मात्रा केवल आधी चम्मच होगी, जिसमें एक बूंद की मात्रा पृथ्वी के ऊपर बहते हुए जल को इंगित करेगी तो बाकी भौम जल को । स्पष्टतया समूची दुनिया में शुद्ध पेयजल का नितानत अभाव है । विभिन्न देशों की सरकारें नदियों के जल को पीने योग्य बनाने के लिए प्रयासरत हैं, यथा ब्रिटेन में थेम्स नदी व फ्रांस में सीन नदी के शुद्धिकरण के लिए उपयुक्त कदम उठाये गये हैं । हमारे देश में भी 2525 किमी0 लम्बी गंगा नदी के जल के शुद्धिकरण हेतु 16 फरवरी, 1985 को "केन्द्रीय गंगा प्राधिकरण" की स्थापना की गयी । इस महत्वाकॉक्षी योजना को पूर्ण रूप देने के लिए ब्रिटेन, फ्रांस व हालैण्ड के साथ विश्व बैंक से भी सहयोग ली जा रही है ।

जल संरक्षण कार्यक्रम में जल के भौतिक, रासायनिक व जैविक गुणधर्मो का अध्ययन किया जाता है । इसमें उपस्थित हानिकारक, आविषालु व विषाक्त धातुओं व पदार्थों की मात्रा ज्ञात की जाती है एवं उसमें विद्यमान जीव जात के संदर्भ में भी अध्ययन होता है पर जलीय तंत्र का अभिन्नव अविभाज्य अंग अवसाद (तलहट–सेडिमेन्ट्स) के अध्ययन को पर्याप्त महत्व प्रदान नहीं किया जाता है ।

हिन्दू धर्म ग्रन्थ–अहिक सूत्रावली में उल्लिखित है कि –

मृत्तिके ब्रह्मपूतासि काश्यपेना भिवंदिता ।।
त्वया इतेन पापेन गच्छामि परमां गतिम ।।
(अहिक सूत्रावली)

"इसका (अवसाद, मृदा) पूजन ब्रह्मा और अन्य देवताओं ने किया है । यह समस्त प्रकार के पापों को धो देता है और मानव को मोक्ष की प्राप्ति होती है"

"अवसदि" का शाब्दिक अर्थ उन ठोस पदार्थो से है जो किसी द्रव में निलम्बन की अवस्था से तली में बैठता है। व्यापक अर्थ में रासायनिक अवक्षेप, अवशिष्ट निक्षेप, कार्बनिक मलवे के स्वस्थानिक पदार्थ और हिमनदीय व वायुढ़ अभिकरणों के द्वारा निक्षेपित पदार्थ भी "अवसाद" कहलाते हैं । नदियों व सरिताओं के प्रवाह मार्ग में निक्षेपित शैलों

के रासायनिक एवं यांत्रिक अपक्षय से बड़े मात्रा में प्राप्त ठोस पदार्थो का विशाल जलराशि द्वारा परिवहन होता है और ये पदार्थ निक्षेपण द्रोणी में इकट्ठा होते हैं । अवसादों का परिवहन मुख्यतः जलविज्ञान सम्बन्धी व भू–आकृतिकीय परिघटना से सम्बन्धित है । पौधे एवं वनस्पतिक आवरण भी अपने गहरे जड़ों के कारण मातृ शैलों का विखंडन करते हैं । जलीय परितंत्र में प्रदूषण के अध्ययन के संदर्भ में प्रथम उल्लिखित परिभाषा उपयुक्त नहीं है । अवसाद एक महत्वपूर्ण प्राकृतिक संसाधन है, जो हमें न केवल खनिज और उद्योगों हेतु कच्चा पदार्थ देते हैं वरन् मृदा के निर्माण में महती भूमिका निभाते हैं। जल संरक्षण के पर्यावरणीय प्रबन्धन कार्यक्रम में नूतन अवसादों के अध्ययन को महत्व प्रदान नहीं किया गया है चाहे वे नदी अवसाद हो या सरोवरीय या डेल्टाइक अवसाद, गहरे समुद्री अवसाद या उथले जल के अवसाद जो विभिन्न अवसादन की परिस्थितियों (समुद्री, संक्रामी व महाद्वीपीय) में निक्षेपित हुए हैं और विभिन्न अवसादी परिस्थितियों (यांत्रिक, भौतिक–रासायनिक व जैविक) के सम्मिश्रण के प्रभाव में निर्मित हुए हैं । अधिकांश प्राकृतिक अवसाद शैलों व खनिजों के खण्ड होते हैं जो 2 मिमी0 व्यास के आकार वाले बालू कणों से लेकर गाद, मृत्तिका व अतिसूक्ष्म कोलाइडी कणों वाले होते हैं । जलीय माध्यम में अवसाद प्रदूषण के वे ही मुख्य कारक हैं जो जल प्रदूषण हेतु उत्तरदायी हैं । नदी जल में सीवेज का उत्प्रवाह, उद्योगों से निःसृत अपशिष्टों को बिना उपचरित किये जल में छोड़ने, प्रक्षालकों के प्रयोग, निकटवर्ती कृषि भूमि में अधिक अन्न उत्पादन हेतु प्रयुक्त रासायनिक उर्वरकों एवं कीटनाशियों का रिसकर जल में आने और फिर अवसादों पर जमा होने से अवसाद का प्रदूषण होता है । निकटस्थ क्षेत्रों में खनन कार्य के परिणामस्वरूप उपलब्ध अपशिष्टों तथा वायुमण्डल में व्याप्त बहुत सी अशुद्धियां भी वर्षा जल के साथ मिलकर जलधारा में मिलती हैं और अन्ततः जिससे जलीय अवसाद प्रदूषित होता है । अत्यधिक प्रदूषित नदी अवसाद में 30% तक सीवेज (शहरी मल–जल) के कण हो सकते हैं (हेलमॉन, 1970) ।

जलीय तंत्र में अवसाद में गुणधर्मो का अध्ययन अति महत्वपूर्ण है क्योंकि इसकी उपेक्षा कर जल संसाधनों के संरक्षण कार्यक्रम को अपेक्षित गति प्रदान नहीं की जा सकती है । जलीय माध्यम में अवसाद की महत्वपूर्ण भूमिका निम्न लिखित तथ्यों से सुस्पष्ट है :

– जलीय माध्यम में अवसाद दीर्घ अवधि को निरूपित करता है । ये अवसादीय परतों का निर्माण करते हैं जो विभिन्न अवसादन परिस्थितियों का प्रतिनिधित्व करते हैं । मोटी अवसादीय परतें तीव्र प्रवाह एवं पतली अवसादीय परतें स्थिर जल के कारण बनती हैं । इन अवसादीय परतों में जलीय तंत्र में घटित हुई गतिविधियों का लेखा–जोखा समाहित रहता है । जबकि बहता हुआ जल किसी स्थान विशेष पर कुछ क्षणों से अधिक नहीं रूकता है । एकत्रित जल के नमूनों के विश्लेषण अध्ययन के समय की स्थिति की ही जानकारी प्राप्त की जा सकती है क्योंकि यह जल के प्रवाह में परिवर्तन, जल के उद्‌गम स्थल के तीव्रता में उच्चावचन, प्रदूषकों के जल में मिलने के समय आदि से प्रभावित होता है । इसी प्रकार निम्नलिखित पदार्थो का अध्ययन भी वांछित परिणाम नहीं दे सकता है ।

– कम अन्तराल पर एकत्रित जलीय प्रतिदर्शी में भारी धातुओं की मात्रा में अत्यधिक अन्तर पाया गया है । जबकि अवसादी प्रतिदर्शी में भारी धातुओं की मात्रा अवसाद के गठनीय व्यवहार व जल के निम्नप्रवाह की दशा में दूरी में एक सुसंगत सम्बन्ध स्थापित किया जा सकता है । अतिसूक्ष्म अवसाद यथागाद एवं मृत्तिका, जल में घुलित और निलम्बित भारी धातुओं को अपने में समाविष्ट करने की क्षमता रखते हैं । जबकि बड़े आकार के कणों में भारी धातुओं के शोषण की क्षमता कम होती है ।

– सतही एवं अंतराली जल में विनियम प्रक्रमों के कारण नदी के प्रवाह मार्ग की दिशा में उच्चावचन प्रभावित होता रहता है । ये प्रक्रम जल के पी0एच0 व ई0एच0, संकुलन कर्मक के प्रकार एवं मात्रा, जलीय लवणता, तापक्रम और जैविक क्रियाकलापोंपर निर्भर होते हैं । सतही और तलीय जल में उपस्थित भारी धातुओं के वितरण व्यवहार में कोई सम्बन्ध दृष्टिगोचर नहीं होता है ।

– अधिकांश भारी धातुएं जल में तुरन्त घुलनशील नहीं होते हैं । फलतः जलीय माध्यम में एकत्रित अवसादों में समाविष्ट हो जाते हैं ।

– तलछटों में समाविष्ट भारी धातुओं की मात्रा संयुक्त जलीय प्रावस्था में तद्सम्बन्धित धातुओं की मात्रा से 1000 से 100,000 गुना अधिक होती है । अवसाद में उपस्थित भारी खनिजों की पर्याप्त उपलब्धता के परिणामस्वरूप भारी धातुओं का संवर्धन होता है विशेषकर सूक्ष्म बालू व गाद कणों में । जबकि हल्के खनिजों यथा क्वार्टज, फेल्सपार और अभ्रक की उपस्थिति का अवसादों में भारी/आविषालु धातुओं की मात्रा पर विपरीत प्रभाव पड़ता है ।

– अवसादों में भारी/विषाक्त धातुओं के सांद्रण में सूक्ष्म आकार के कणों की महत्वपूर्ण भूमिका होती है । मृत्तिका खनिजों यथा केओलिनाइड, क्लोराइट, इलाइट और मॉन्टमॉरिलोनाइट में व्यापक सतही क्षेत्रफल होता है, फलतः अन्तराअणुक बल के कारण ये खनिज अवसाद – जल पार्थक्य पृष्ठ पर भारी धातुओं के आयनको अधिशोषित करने की क्षमता रखते हैं । इन खनिजों के अतिरिक्त शुद्ध रूप से निक्षेपित लोह हाइड्राक्साइड, अक्रिस्टलीय सिलिसिक अम्ल एवं कार्बनिक पदार्थो में भी विलयन से धनायन शोषित करने एवं समतुल्य मात्रा में अन्य धनायन निःसृत करने की क्षमता होती है । विभिन्न मृत्तिका खनिजों की शोषण क्षमता अलग–अलग होती है। मॉन्टयमॉरिलोनाइट में सतह पर एवं दो परतों के मध्य भारी धातुओं का अधिशोषण होता है जबकि केओलिनाइट में सतह पर ही शोषण होता है । फॉस्टनर एवं विटमैन (1981) के अनुसार मृदाश्मिक अवसादों में आयन विनियम क्षमता का कम निम्नलिखित है :

केओलिनाइट < क्लोराइट < इलाइट < मॉन्टमॉरिलोनाइट

मॉन्टमॉरिलोनाइट की आयन विनियम क्षमता 80 – 150 मिली समतुल्य/100 ग्राम है, जबकि केओलिनाइट की 3–15 मिली समतुल्य/100 ग्राम (कैरोल, 1959) । मॉन्टमॉरिलोनाइट में सतह पर एवं दो परतों के मध्य भारी धातुओं का शोषण होता है जबकि केओलिनाइट में सतह पर ही शोषण होता है ।

मृत्तिका खनिजों के साथ भारी धातुओं की बंधुता का क्रम मिचेल (1964) के अनुसार इस प्रकार है :

लेड > निकॅल > कॉपर > जिंक

हिर्स्ट (1962) के अनुसार क्रोमियम, वैनेडियम, कॉपर, लेड निम्नीकृत मृत्तिका खनिजों के क्रिस्टलीय लैटिस में जुड़ जाते हैं । क्रोमियम व कॉपर, इलाइट के साथ एवं वैनेडियम, कोबाल्ट, निकॅल, मॉन्टमोरिलोनाइट के साथ जुड़ते हैं ।

जलीय तंत्र में अवसाद में समाविष्ट लेश/भारी धातुओं के वितरण व्यवहार में परिवर्ततन को नियंत्रक कारकों के फलन द्वारा प्रकट किया जा सकता है (डाहलवर्ग, 1962)

$$T = f (L.H.G.C.V.M.E.)$$

या टी = फलन (एल.एच.जी.सी.बी.एम.ई.)

जहां, T = परिणात्मक लेश धातुओं का सांद्रण
L = शैल लक्षण एकक का प्रभाव
H = चलजलीय प्रभाव
G = भूगर्भीय आकृतियां
C = मानवीकृत प्रभाव
V = वनस्पतिक आवरण के प्रकार
M = खनिजीभूत क्षेत्र का प्रभाव
e = अतिरिक्त कारकों का अशुद्धियॉ एवं प्रभाव, जिसे डाहलवर्ग प्रतिरूप में अच्छी प्रकार वर्णित नहीं किया गया है ।

उपर्युक्त प्रतिरूप में 'मानवीकरण प्रभाव' को छोड़कर अन्य कारक प्राकृतिक प्रदूषण से जुड़े होते हैं, जिसे पृष्ठभूमि मान की तरह माना जा सकता है । यद्यपि औद्योगिक व शहरी प्रदूषण और प्राकृतिक प्रदूषण में विभेद करना सदैव सम्भव नहीं होता है । अवसाद प्रदूषण चक्र चित्र 1 में प्रदर्शित है ।

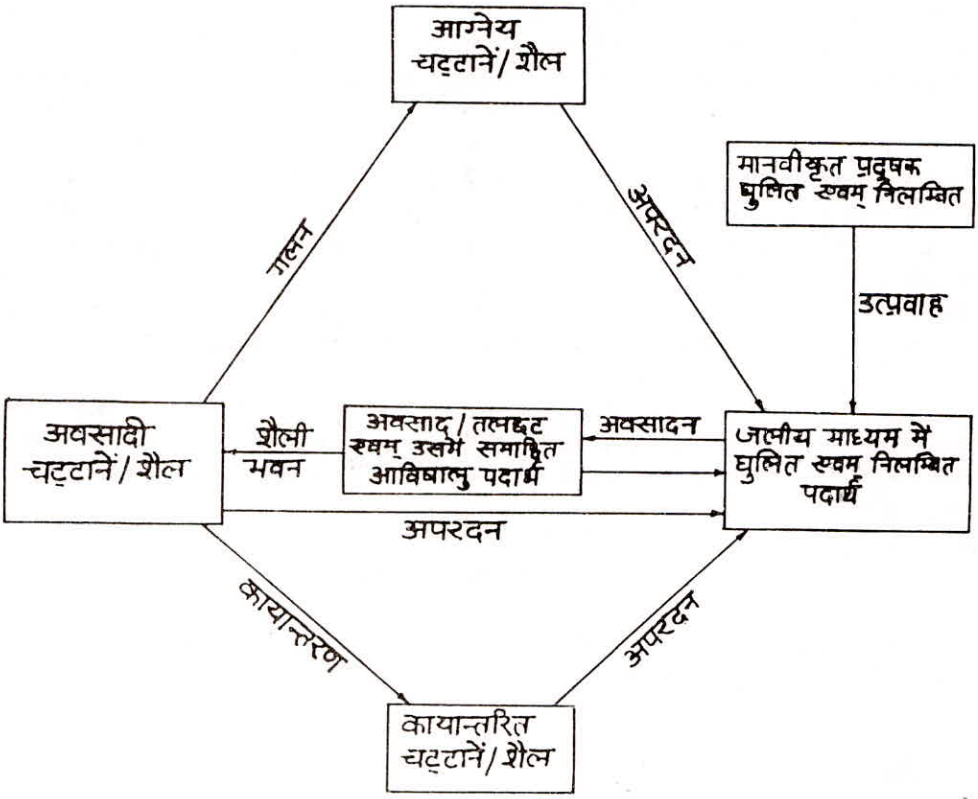
उपर्युक्त तथ्यों से यह स्पष्ट होता है कि जलीय माध्यम में अवसाद अप्रदूषक की तरह कार्य करते हैं और जल को शुद्ध बनाये रखने में महत्वपूर्ण भूमिका का निर्वाह करते हैं । घरेलू कूड़े–कचरे, शहरी मल–जल और विभिन्न उद्योगों के अपशिष्टों का निस्तारण निकटस्थ जलीय तंत्र में कर दिया जाता है । इन अपशिष्टों में घुलनशील व अघुलनशील दोनों ही प्रकार के पदार्थ होते हैं । अघुलनशील पदार्थ शनैः शनैः जल में नीचे की ओर जाते हैं और अवसाद/तलछट में बैठ जाते हैं । कुछ घुलनशील पदार्थ, जिनमें विषाक्त धातुएं भी होती हैं, तलछट में पूर्व उपस्थित मृत्तिका खनिजों द्वारा अवशोषित कर लिये जाते हैं, परन्तु जलीय तंत्र में होने वाली भौतिक, रासायनिक, जैव रासायनिक प्रक्रियाओं के फलस्वरूप विषाक्त धातुओं/हानिकारक पदार्थों का अवसाद से जल में पुनः प्रवेश सम्भव है । फलतः जल अपेक्षाकृत अधिक प्रदूषित हो सकता है । अवसाद और उपरिशायीजल के मध्य हानिकारक रासायनिक पदार्थों के विनिमय को प्रदर्शित करती हुई एक सामान्यीकृत रूपरेखा चित्र 2 में प्रदर्शित है (एवनिमैलेक व अन्य, 1983) । कभी–कभी अवसाद जलीय तंत्र को पूर्ण रूप से भर देते हैं, जल मार्ग के प्रवाह को बन्द कर देते हैं, बाढ़ के समय उपजाऊ भूमि पर निक्षेपित हो जाते हैं, जलीय जीव–जन्तुओं को नष्ट कर देते हैं, आविलता (टर्बिडिटी) उत्पन्न कर देते हैं, पेयजल को अनुपयोगी बना देते हैं और जल वितरण प्रणाली में बाधा उपस्थित कर देते हैं । इसके अतिरिक्त जल मार्ग के ऊपरी क्षेत्र में वनों की अंधाधुंध कटाई से मृदा अपरदन (स्वायल इरोजन) के परिणामस्वरूप नदी में गाद की मात्रा बढ़ती है, जिससे नदी उथली होती है और जल की मात्रा कम होने से प्रदूषण में वृद्धि होती है । इस प्रकार अवसाद प्रदूषक के रूप में भी कार्य करते हैं । विषाक्त पदार्थों की गतिशीलता के मुख्य कारण हैं :– (1) लवणीय सांद्रता में वृद्धि, (2) जलीय तंत्र के रेडॉक्स स्थिति में परिवर्तन, (3) पी0एच0 में कमी, (4) प्राकृतिक व कृत्रिम संकुलन कर्मकों का अत्यधिक उपयोग जिसके फलस्वरूप घुलनशील धात्वीक सम्मिश्रण का निर्माण होता है, (5) सूक्ष्म जैविक क्रियाकलापों ।

अवसादीय प्रतिदर्शो के अध्ययन से जलीय तंत्र में हो रहे परिवर्तन, जो प्राकृतिक कारणों से हों अथवा मानवीय क्रियाकलापों से, को भली–भांति समझा जा सकता है । जलीय तंत्र में धातुओं का विनियम निम्नलिखित कारकों से प्रभावित होता है, जिन्हें तालिका 1 में प्रदर्शित किया गया है । इन कारकों का वर्णन जेनेट व अन्य (1983) और ब्रीकर (1985) ने किया है ।

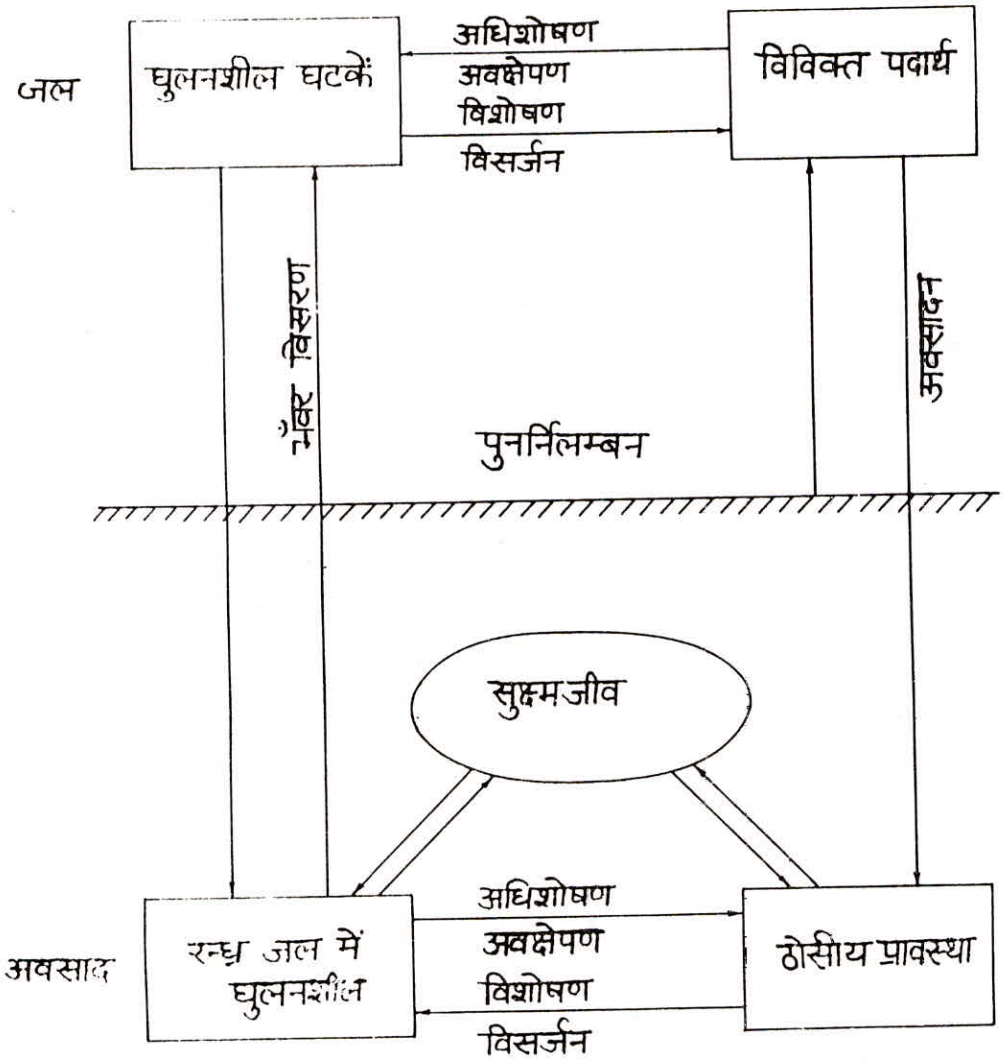
तालिका 1 : जल व अवसाद में भारी धातुओं के विनियम के प्रमुख कारक

भौतिक कारक :	i)	तापमान
	ii)	जल का प्रवाह
	iii)	अवसाद का गठन
जैविक कारक :		
रासायनिक कारक :		अम्लीयता–क्षारीयता
		संकरण
		आक्सीकरण व अवकरण
		शोषण – विशोषण
		अवक्षेपण – विलयन

इन कारकों के संचयी प्रभाव से जल और अवसाद में परस्पर विषाक्त धातुओं व हानिकारक पदार्थों का विनियम होता है । अवसाद से जल में इन धातुओं के प्रवेश के फलस्वरूप जल अपेय हो जाता है ।



चित्र 1: अवसाद प्रदूषण चक्र



चित्र 2: अवसाद और उपरिशायी जल के मध्य हानिकारक रासयनिक पदार्थों के विनिमय को प्रदर्शित करती हुई एक समाविष्टित रूपरेखा (स्वनिमेलेक व अन्य, 1983)

जलीय तंत्र का तापमान रासायनिक अवक्षेपण की क्रिया में महत्वपूर्ण भूमिका का निर्वाह करता है । बहुत से खनिजों और गैसों की घुलनशीलता तापमान से प्रभावित होती है । कुछ लवणीय खनिज शरद ऋतु में अवक्षेपित हो जाते हैं, परन्तु ग्रीष्म काल में पुनः घुलित अवस्था में आ जाते हैं यथा निम्न ताप पर कार्बन डाइ आक्साइड की विलेयता में वृद्धि होती है । नदियों के प्रवाह गति एवं अवसाद–जल में भारी धातुओं का विनियम में सीधा सम्बन्ध है । वर्षा ऋतु या बाढ़ के समय विनियम के लिए पर्याप्त समय नहीं मिलता, जबकि मन्द गति होने पर या ग्रीष्म ऋतु में अवसाद को जल में विद्यमान प्रदूषकों से प्रक्रिया करने का पर्याप्त समय मिल जाता है । इसके अतिरिक्त धातुओं का संकेन्डन अवसाद के गठन पर निर्भर होता है । सूक्ष्म कणों जैसे मृत्तिका (क्ले) व गाद (सिल्ट) में स्थूल कणों (बालू) की अपेक्षा धातुओं का संकेन्डन अधिक होता है । एक उदाहरण द्वारा इसे समझा जा सकता है । एक ठोस घन जिसमें 6 पृष्ठ हैं और जिसकी लम्बाई, चौड़ाई और ऊँचाई 1 सेंटीमीटर है तो प्रत्येक पृष्ठ का सतही क्षेत्रफल 1 X 1 वर्ग सेंटीमीटर = 1 वर्ग सेंटीमीटर होगा । इस प्रकार 6 पृष्ठों का कुल सतही क्षेत्रफल 6 वर्ग सेंटीमीटर होगा । यदि इस घन को 1000 छोटे–छोटे घनों में तोड़ दिया जावे तो प्रत्येक घन की लम्बाई 1 सेंटीमीटर के स्थान पर 0.1 सेंटीमीटर ही रह जावेगी फलतः प्रत्येक छोटे–छोटे घन का सतही क्षेत्रफल 6 X (0.1 X 0.1) वर्ग सेंटीमीटर अर्थात 0.06 वर्ग सेंटीमीटर होगा । इस प्रकार तोड़े गये 1000 घनों का कुल क्षेत्रफल 1000 X 0.06 वर्ग सेंटीमीटर अर्थात 60 वर्ग सेंटीमीटर हुआ । स्पष्टतया कणों का आकार छोटा होने से क्षेत्रफल में वृद्धि होती है और अधिक क्षेत्रफल के कारण अन्तराअणुक बल भी बढ़ जाता है जो धातुओं के अधिक अधिशोषण में सहायक बनता है । मृत्तिका खनिज और जियोलाइट अच्छे शोषक हैं । ये एल्यूमीनियम के हाइड्रस सिलिकेट हैं, साधारणतया इनमें बेरियम, पोटैशियम, मैग्नीशियम व स्ट्रांशियम भी होता है ।

अवसादों में जीवाणुओं के क्रियाकलापों के कारण के संचरण से अथवा जीवाणु स्थिरीकरण प्रक्रमों से संबंध गैस के उत्सर्जन से भौतिक मिश्रण होता है । जीव–जात प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष प्रक्रियाओं के द्वारा लेश धातुओं के विनियम को प्रभावित कर सकता है । जलीय परितंत्र में बहुधा प्राप्त होने वाले जीवाणु मरकरी व लेड के अपेक्षाकृत अगतिशील यौगिकों को मिथाइलेशन प्रक्रमों के द्वारा अति गतिशील बना देते हैं । जलीय जीवाणुओं के श्वसन व प्रकाश संश्लेषक क्रियाकलापों से जल के रासायनिक गुणधर्मों –– पी.एच., आयनिक शक्ति, आक्सीजन –– अवकरण क्षमता परिवर्तित हो जाता है फलतः विनियम क्षमता प्रभावित होती है । कुछ जलीय तंत्र में निश्चित जीवाणुओं द्वारा सल्फेट का सल्फाइड में अवकरण महत्वपूर्ण है, उल्लेख है कि बहुत से धातुओं के सल्फाइड अघुलनशील होते हैं । विभिन्न मौसम में अलग–अलग जैव व्यवहार झीलों एवं सुपोषी भण्डार में देखने को प्राप्त होता है । अवसादन के समय, विशेषकर अवसाद व जल के पार्थक्य पृष्ठ पर तंत्रों में तली जल हाइड्रोजन आयन सम्पूर्ण घुलनशील पदार्थ (आयनिक शक्ति) और ई.एच. (आक्सीकरण–अवकरण क्षमता) से समृद्ध हो जाते हैं । इन परिस्थितियों में अवसादों से भारी धातुओं का प्रवेश जल में होने लगता है । वर्षा ऋतु में अनुकूल तापमान के कारण जीवाणुओं द्वारा सर्वाधिक अपघटन होता है । जीवाणुओं द्वारा कार्बनिक पदार्थो के अपघटन से अवसाद – जल के पार्थक्य पृष्ठ के नीचे एक निश्चित दूरी तक एनाक्सिक स्थिति उत्पन्न हो जाती है । इस अशर्त प्रतिबंधित पर्यावरण में बहुत से भारी धातु गतिशील हो जाते हैं, जिनका संकेन्डन अकार्बनिक रासायनिक अभिक्रियाओं –– विलयन अवक्षेपण द्वारा नियंत्रित होता है (ब्रीकर, 1985) ।

अम्ल–क्षार अभिक्रिया, विनिमय अभिक्रिया को अनेक प्रकार से प्रभावित करते हैं क्योंकि अधिकांश रासायनिक अभिक्रिया पी.एच. पर निर्भर होते हैं । उदाहरणार्थ पी.एच. का मान 7 से अधिक होने पर लेड का मृत्तिका खनिजों पर अवशोषण होता है (हीडब्रांड एवं ब्लूम, 1974) । अम्लीय माध्यम में कार्बोनेट का अवक्षेपण नहीं होता है । इसके लिए पी.एच. का मान कम से कम 7.8 होना आवश्यक है । जबकि सिलिका अम्लीय माध्यम में अवक्षेपित होता है और क्षारीय माध्यम में जल में विलेय रहता है । प्राकृतिक जलीय अवसाद पी.एच. में अधिक परिवर्तन नहीं दर्शाते हैं क्योंकि वे मृत्तिका पदार्थों के अधिक मात्रा में उपस्थित तली में बैठे कार्बनिक पदार्थ और प्रणाली में अवक्षेपित कैल्सियम कार्बोनेट के कारण भली प्रकार से उभय प्रतिरोधित होते हैं । पी.एच. में परिवर्तन से शोषण सतह की प्रकृति, अवक्षेपण एवं संकरण अभिक्रिया का घटित होना एवं आयनिक स्पीशीज का वितरण प्रभावित होता है । पी.एच. में परिवर्तन से न केवल साम्यावस्था की स्थिति प्रभावित होती है वरन् अनेक उदाहरणों में विनियम अभिक्रिया की गतिज भी प्रभावित होता है । सामान्यतया सम्बद्ध जलीय प्रावस्था में भारी धातुओं के स्तर में वृद्धि हाइड्रोजन धनायन की अधिकता एवं अवसादी स्रोत के गतिशीलता से सम्बन्धित होता है ।

संकरण अभिक्रिया अवसाद – जल विनियम प्रक्रमों में महत्वपूर्ण हो सकते हैं । शुद्ध जल में प्राप्त होने वाले विभिन्न कार्बनिक योगिकों, जिनकी भारी धातुओं के साथ संकरण करने की प्रबल क्षमता होती है, की उपस्थिति में संकरण अभिक्रिया की गति तीव्र हो जाती है । ये अभिक्रिया संमागी या विषमांगी हो सकते हैं । विलयन में सम्मिश्रण (काम्प्लेक्स) का निर्माण होने से अवसाद से विनिमय दर में अभिवृद्धि हो जाती है । फल्विक व ह्यूमिक अम्ल शुद्ध जलीय तंत्र में बहुतायत में प्राप्त होते हैं जो अपघटित पत्तियों के कूड़े–कचरे व प्लवकीय जीव जेसे प्राकृतिक स्रोतों से उत्पन्न होते हैं । इन कार्बनिक अम्लों का स्तर परितंत्र विशेष व मौसम विशेष के लिए निर्धारित होता है । फल्विक व ह्यूमिक अम्ल के कारण जलीय माध्यम में अवसादी भारी धातुओं के गतिशीलता में वृद्धि होती है (बोल्टर व बुट्ज, 1977, बेनेस व अन्य, 1976) ।

अवसाद की आक्सीकरण व अवकरण क्षमता (रेडॉक्स स्थिति) लेश/भारी धातुओं की आबद्धता व गतिशीलता को प्रभावित करती हैं । रेडॉक्स स्थिति में गिरावट आने से अवसादी भारी धातुओं की गतिशीलता बढ़ जाती है । सरितजीवी (लोटिक) व स्थिर जलीय (लेंटिक) तंत्र के ई.एच. का मान प्लेटिनम या अन्य आदर्श धात्वीक इलेक्ट्रोड के द्वारा ज्ञात किया जाता है, यद्यपि ये मान आक्सीकरण व अवकरण स्थिति के बारे में स्थूल जानकारी प्रदान करते हैं । सतही अवसादी परत के नीचे का भाग बहुधा अवकारक स्थिति में होता है, जबकि सतही अवसाद व इसके ऊपर के भाग का जल आक्सीकरण स्थिति में होता है । ई.एच. का प्रभाव लौह के गतिशीलन में देखने को मिलता है । आक्सीकरण वातावरण में लौह, हेमेटाइट के रूप में अवक्षेपित होगा, वहीं अवकरण परिस्थितियों में लौह, आयरन सल्फाइड (पाइराइट) के रूप में अवक्षेपित होगा । इसी प्रकार देखा गया है कि तीव्र अवकारक परिस्थितियों में सल्फाइड अवक्षेपित होता है। साधारण अवकारक परिस्थितिय में आयरन – कार्बोनेट अवक्षेपित होता है । कम अवकारक परिस्थिति में सिडेराइट एवं विविएनाइट अवक्षेपित होता है । कमजोर आक्सीकरण परिस्थिति में ग्लाउकोनाइट एवं आक्सीकरण परिस्थिति में फेरिक आक्साइड या हाइड्राक्साइड का अवक्षेपण होता है ।

अवसाद और जल में भारी धातुओं के विनिमय में शोषण अभिक्रिया का अति महत्वपूर्ण स्थान है । मृत्तिका और अकार्बनिक क्रिस्टलीय यौगिकों (विशेषकर आयरन व मैंगनीज के हाइड्रस आक्साइड) में शोषण क्षमता अधिक होती है । सामान्यतया शोषण एक तीव्र प्रक्रम है जो पी.एच. पर निर्भर है । कम पी.एच. (मैलो, 1977) और उच्च आयनिक क्षमता वाले स्थितियों में (गर्सिया–मिरागाया और पेज, 1976) शोषित भारी धातुओं का जल में विनिमय सम्भव है ।

अवसादी तंत्र में भारी/विषाक्त धातुओं के निक्षेपण में अवक्षेपण एक महत्वपूर्ण अभिक्रिया है, परन्तु आयनिक क्षमता एवं अवसादी तंत्र के संरचनात्मक स्थितियों में अत्यधिक परिवर्तन से आबद्ध भारी धातुओं का अवसाद से जल में पुनः गतिशीलन विलयन अभिक्रिया से सम्बन्धित है ।

जल संरक्षण कार्यक्रम में अवसादों की महती भूमिका को दृष्टिगत रखते हुए अनेक देशों यथा संयुक्त राज्य अमेरिका, नीदरलैंड, तत्कालीन सोवियत संघ, जर्मनी, पोलैंड, स्वीडन एवं हंगरी में सत्तर के दशक और आस्ट्रिया, इजराइल, जापान, स्वीटजरलैंड, ग्रेट ब्रिटेन एवं युगोस्लाविया में अस्सी के दशक से ही शोध कार्य आरम्भ हो चुका था । हमारे देश में नब्बे के दशक के मुख्य भाग से इस दिशा में विधिवत कार्य प्रारम्भ हो सका है । पिछले एक दशक में हुए महत्वपूर्ण शोध प्रकाशनों की सूची लंबी है । हालांकि प्रदीप व लक्ष्मण पेरूमल सामी (1986), पाल व पिल्लई (1983), मेहरोत्रा व अन्य (1989, 1991), साहू व मुखर्जी (1983, 1985), सुब्रामानियन व अन्य (1985, 87), सरीन व अन्य (1992), सिंह (1990), श्रीवास्तव (1990), श्रीवास्तव व अन्य (1993) के कार्यो का उल्लेख किया जा सकता है ।

2525 किमी0 लम्बी 'गंगा' नदी विश्व की सर्वाधिक प्रदूषित नदियों में से एक हैं । उत्तर प्रदेश के मिर्जापुर क्षेत्र में इसके तटीय अवसादों का अध्ययन किया गया है । नदी के दोनां तटों – दायें व बायें से अवसादों का प्रतिचयन किया गया और उसमें उपस्थित भारी धातुओं की मात्रा परमाणवीय अवशोषण स्पेकट्रममिति विधि द्वारा ज्ञात की गयी । ज्ञात मानों की तुलना औसत शेल में विद्यमान भारी धातुओं की मात्रा (टुरेकियन एवं वेडेपाल, 1961) से की गई । उल्लेख है कि औसत शेल मान को ही अवसादों में एकत्रित लेश/भारी धातुओं से तुलना करने के लिए आधार

बनाया जाता है । तालिका 2 में मिर्जापुर क्षेत्र में गंगा अवसाद में विद्यमान भारी धातुओं की मात्रा दर्शायी गयी है ।

तालिका 2 से स्पष्ट है कि कापर की मात्रा 31–931, कोबाल्ट 6–20, लेड 14–226, निकल 6–24, क्रोमियम 42–138 व जिंक 41–717 पी.पी.एम. तक परिवर्तित होती है । अवसादी प्रतिदर्शो में कापर, लेड, निकल व जिंक की अधिकतम मात्रा ओलियर घाट के निकट पायी गयी जो औसतन शेल मान से क्रमशः 21, 11, 1.5 व 7.5 गुना अधिक है । क्रोमियम की अधिकतम मात्रा उसी (ओलियार घाट) पर ज्ञात हुई । इस घाट 'नियरिया' समुदाय द्वारा अलौह धातुओं को धोने का कार्य सम्पन्न होता है, जिनकी संख्या सैकड़ों में है । अतः नदी जल व अवसाद में उच्छिष्टों के जमाव से उपर्युक्त भारी धातुओं का सांद्रण बढ़ता है ।

क्षेत्र के अवसाद मुख्यतया सूक्ष्म व अतिसूक्ष्म कण आकार के हैं । अवसादी प्रतिदर्शो के कण साइज विश्लेषण के आधार पर खींचे गये साइज बारम्बारता वक्रों से स्पष्ट है कि 57.5 प्रतिशत नमूने एक बहुलक, 22.5 प्रतिशत द्विबहुलक तथा 20.0 प्रतिशत बहुबहुलक हैं । संचयी वक्रों से स्पष्ट है कि अधिकांश नमूनों का निक्षेपण बेल्लन, वल्गन और निलम्बन विधियों द्वारा हुआ है । मिर्जापुर क्षेत्र में स्थित विभिन्न औद्योगिक उपक्रमों यथा कालीन, ऊन वस्त्रोद्योग, एल्यूमीनियम, अलौह धातुएं व रंगरोगन के कारखानों द्वारा उच्छिष्ट व अपशिष्ट नदी जल में डाल दिया जाता है । शहरी मल–जल का अधिकांश भाग नदी में ही गिरता है । जल में प्रवेश हुई भारी धातुओं के शोषण में अवसादों में उपस्थित मृत्तिका खनिजों का महत्वपूर्ण योगदान है । एक्स किरण विधि से मृत्तिका खनिजों –– मॉन्टमॉरिलोनाइट, इलाइट, केओलिनाइट, क्लोराइट तथा अन्य खनिजों की विद्यमानता ज्ञात हुई है । अवरक्त स्पेक्ट्रमकीय अध्ययन से भी इन मृत्तिका खनिजों की पुष्टि हुई है (तालिका 3) ।

अवसाद प्रदूषण को दूर करना आवश्यक है क्योंकि जलीय तंत्र के भौतिक, रासायनिक और जैव रासायनिक गुणधर्मो में परिवर्तन से विषाक्त भारी धातुओं का अवसाद से जल में पुनः प्रवेश सम्भव है फलतः जल प्रदूषित हो सकता है । अवसाद प्रदूषण दूर करने के लिए अनेकों उपाय सुझाए गऐ हैं यथा प्राकृतिक व रासायनिक उर्णन, विजलन व स्थिरीकरण, रासायनिक अवक्षेपण, रासायनिक यौगिकीकरण, चूना उपचार, उपचार संयंत्र में आयन विनिमय प्रक्रम, लौह या लाल तांबे के टुकड़ों के साथ रासायनिक विस्थापन, उत्तेजित कार्बन पर अधिशोषण, प्रतिलोम परासरण, द्रवीय झिल्ली निष्कर्षण, उच्च प्रवणता के चुम्बकीय पृथक्करण । चिंग–आई व हांगजियाओ (1985) से नदी नियंत्रण परियोजना में तलमार्जन करने या उसे अप्रवेश्य पदार्थो द्वारा ढकने और प्रदूषित पदार्थो के विसर्जन को कम करने के लिए पुनः चक्रण की सलाह दी है । यद्यपि समय और स्थान के परिपेक्ष्य में इन उपायों की व्यवहारिकता और आर्थिक मूल्यांकन भी आवश्यक है ।

आभार

वरिष्ठ लेखक (अजय श्रीवास्तव) वैज्ञानिक तथा औद्योगिक अनुसंधान परिषद (सी.एस.आई.आर.) नई दिल्ली के प्रति कृतज्ञता ज्ञापित करते हैं, जिसने उन्हें 'रिसर्च एसोसिएटशिप' अवार्ड की । इसके अतिरिक्त विभागाध्यक्ष, भू–विज्ञान विभाग, काशी हिन्दू विश्वविद्यालय के भी आभारी हैं, जिन्होंने प्रयोगशाला सुविधा प्रदान की ।

तालिका–2

मिर्जापुर गंगा अवसाद में उपस्थित भारी धातुओं की मात्रा

क्रम सं0	प्रतिदर्श	प्रतिदर्श की स्थिति	भारी धातुएं (पी0पी0एम0) में					
			कापर	कोबाल्ट	लेड	निकैल	क्रोमियम	जिंक
1.	एम.1	बगीचा घाट से अग्रबहाव की दिशा में	90	12	47	14	129	110
2.	एम.2	ओलियर घाट से अग्रबहाव की दिशा में	931	6	226	24	123	717
3.	एम.3	ओलियर घाट	56	9	19	9	138	94
4.	एम.4	कचहरी घाट से अग्रबहाव की दिशा में	169	9	47	11	131	280
5.	एम.5	फतुआ घाट	61	12	37	15	–	69
6.	एम.6	पिपरा डॉड	37	18	28	18	98	80
7.	एम.7	बगीचा घाट विपरीत	40	6	14	9	45	41
8.	एम.8	पक्का घाट विपरीत	48	–	19	6	46	44
9.	एम.9	फतुआ घाट विपरीत	51	20	37	17	50	75
10.	एम.10	बिसुन्दरपुरघाट	31	15	23	12	45	53
11.	एम.11	पिपराडॉड घाट विपरीत	56	12	28	9	42	73
औसतन शेल मान (टुरेकियन व वेडपॉल, 1961)			45	19	20	68	90	95

तालिका–3

अवरक्त स्पेक्ट्रमकीय विधि द्वारा गंगा अवसाद में ज्ञात खनिज

खनिज	तरंग संख्या सेमी $^{-1}$
एल्बाइट	1150, 1096, 1035, 995, 786, 774, 760, 650, 594, 536, 467.
कैल्साइट	1422, 1060, 876, 848, 712, 433.
डोलोमाइट	1432, 882, 851, 728.
इलाइट	3643, 3622, 1080, 912, 875, 752, 692, 561, 523, 475.
केओलिनाइट	3694, 3652, 1100, 1032, 1008, 913, 793, 753, 694, 539, 471, 431.
मॉन्टमॉरिलोनाइट	3624, 3420, 3225, 1630, 1038–1028, 915, 845–835, 522, 467.
मस्कोवाइट	3663, 3624, 1068, 1023, 968, 912, 876, 750, 557, 531, 477.
पाइरोफिलाइट	3678, 3630, 1120, 1068, 1049, 948, 578, 539, 517, 482, 461.
क्वार्टज	1172, 1082, 798, 778, 693, 512, 478, 460.
टाल्क–क्लोराइट	3565, 3420, 1008, 986, 952, 821, 756, 660, 551, 460, 450, 439.

संदर्भ

एवनिमेलेक, वाई, मैकहेनरी, जे.आर. और रोस, जे.डी., 1983: डिकम्पोजिशन ऑफ आरगैनिक मैटर इन लेक सेडीमेंटस इनवायरमेंट साइंस टेक्नोलाजी, 18, 5–11.

कैरोल, डी., 1959: आयन एक्सचेंज इनक्लेज एण्ड अदर मिनरल्स् बुलेटिन जियो. सो. अमेरिका, 70, 749–780.

गार्सिया–मिरागया, जे. और पेज, ए.ल., 1976: इन्फल्यूएंस आफ आयनिक स्ट्रेंथ एण्ड इनआरगैनिक काम्पलैक्स फारमेशन आन द सार्पशन आफ ट्रेस एमाउन्ट आफ कैक्रमियम बाई मॉन्टमॉरिलोनाइट सायल साइंस अमेरिका जर्नल, 40, 658–665

चिंग–आई, एल. और हांगजियाओ, टी., 1985: केमिकल स्टडीज आफ एक्वैटिक पाल्यूशन बाई हेवी मेटल्स इन चाइना । इन : इनवायरमेंटल इनआरगैनिक केमिस्ट्री इरगोलिक, के.जे. एण्ड मार्सेल, ए.ई. (इडिटर्स), बी.सी.एच. पब्लि, इन्क्र, यू.एस.ए., 359–371.

जेनेट. जे.सी., इफलर, एस.डब्लू. एण्ड विक्सन, बी.जी., 1983: मॉबिलाइजेशन एण्ड टाक्सिकोलॉजिकल एण्ड आस्पेक्टस ऑफ सेडीमेंटरी कॉन्टामिनैन्टस, इन : कॉनटामिनैन्टस एण्ड सेडीमेंटस, वाल्यूम । – फेट एण्ड ट्रांसपोर्ट, केस स्टडीज, माडलिंग, टाक्सिसिटी (इडिटर–रार्बट ए.बेक), एन्न आर्वर साइंस पब्ल. वाकर, आर.ए. (इड), दी बटलीवार्थ मिशिगन, 429–444.

टुरेकियन, के.के. एण्ड वेडेपाल, के.एच., 1961: डिस्ट्रीव्यूशन आफ द एलीमेंटस इन सम मेजर यूनिटस आफ द अर्थस क्रस्ट, बुलेटिन जियॉलाजिकल सोसाइटी अमेरिका, 72, 175–192.

डाहलबर्ग, ई.सी., 1963: एप्लीकेशन आफ ए सेलेक्टिव साइमुलेशन एण्ड सेम्पलिंग टेक्नीक टू दी इण्टरप्रीटेशन आफ स्ट्रिम सेडीमेंटस, कापर एनामलिज नियर साउथ माउंटेन. इको. जियो., 63, 409–417.

प्रदीप, पी. और लक्ष्मण पेरूमल सामी, पी., 1986: ड्रग रेजिस्टेंट कोलीफार्म इन वाटर एण्ड सेडिमेंटस आफ कोचिन लेक वाटर. इण्डियन जर्न. मेरीन साइंस, 15, 191–192.

पाल, ए.सी. और पिल्लई, के.सी., 1983: ट्रेस मेटल्स इन ए ट्रापिकल रिवर इनवायरमेन्ट, वाटर, एयर एण्ड सायल पोल्यूशन, 19, 63–73.

फास्टनर, यु. एण्ड विटमॉन, जी.टी.डब्लू, 1981: वद्धित द्वितीय संस्करण 1983: मेटल पोल्यूशन इन द एक्वाटिक इनवायरमेन्ट, स्प्रिंगर–वरलाग, वरलिन हाइडेलवर्ग, न्यूयार्क, 1–486.

बेनेस, पी. जेसिंग, ई. टी. एण्ड स्टीनेस, ई. 1976: इंटरएक्शन बिटविन हयूमस एण्ड ट्रेस इलेमेंटस इन फेश वाटर, वाटर रिसर्च, 10, 711–716

बोल्टर, ई. एण्ड बुट्ज, टी0 आर0 1977: हेवी मेटल मोबिलाइजेशन बाई नेचुरल एसिड्स, प्रोसिडिंग्स् इंटरनेशनल कानफरेंश ऑन हेवी मेटल्स इन द इनवायरमेंट, वाल्यूम 11, पाथवेश एण्ड साइम्लिंग, इंस्टियूट फॉर इनवायरमेंटल स्टडीज, यूनिवर्सिटी आफॅ टोरेन्टो, ओन्टारियों, 363–362-

ब्रीकर, ओ0 पी0 1985: इनवायरमेन्टल फैक्टर्स इन द इनआरगैनिक केमिस्ट्री ऑफ नेचुरल सिस्टम्स, दी एस्चुराइन बेंथिक सेडिमेन्ट इनवायरमेन्ट, इन : इनवायरमेन्टल इनआरगैनिक कैमिस्ट्री, इरगोलिक, के0जे0 एण्ड मार्सेल, ए0ई0 ;इडिटर्सद्ध, वी0सी0एच0 पब्लि0 इन्क्, यू0एस0ए0ण् 135–153.

मालो, बी0ए0, 1977 : पार्शियल एक्सट्रेक्शन ऑफ मेटल्स फ्राम सेडीमेंट्स, इनवायरमेंटल साइंस टैक्नोलोजी, 11, 277–284.

मिचेल, आर0 एल0ए 1964 : ट्रेस ईलेमेन्टस इन सॉयल, इन केमिस्ट्री आफ सॉयल, बीयर, एफ0 ई0 (इन्डिटर), रेनहोल्ड, 320–368.

मेहरोत्रा, एम.एन., श्रीवास्त, ए., सिंह, एस.एन. और ज्ञानचन्द्र, 1989 : टाक्सिक मेटल कन्सन्ट्रेशन इन गंगा सेडिमेन्ट, मिर्जापुर यू.पी. इण्डियन मिन., 43, 77–80.

मेहरोत्रा, एम.एन., सिंह एस.एन., श्रीवास्तव अजय और सिंह के.एम. 1911 : लेड इन बैंक सेडिमेन्टस ऑफ गंगा एण्ड इटस रोल इन वाटर पाल्यूशन, बुलेटिन इण्डियन जियो. एसो. 24(1), 61–66.

साहू, के.सी. और मुखर्जी एस. 1983 : मानीटरिंग आफ वाटर एण्ड सेडिमेंटस आफ उल्हास रिवर – नार्थ ईस्ट आफ बाम्बे, महासागर, बुलेटिन आफ दि नेशनल इंस्टीटयूट आफ ओशियानोग्राफी, 16(2), 135–142.

साहू, के.सी. और मुखर्जी, एस., 1985 : रोल आफ पेलिटिक सेडिमेन्टस इन ए मेटल पाल्यूटेड एक्वैटिक इनवायरमेंट, इण्डियन जर्नल आफ अर्थ साइंस, 12(4), 289–299.

सरीन, एम्.एम., कृष्णास्वामी, एस. त्रिवेदी, जे.आर. और शर्मा के.के., 1992 : मेजर आयन केमिस्ट्री आफ दी गंगा सोर्स वाटर्स : वेटरिंग इन दी हाई अल्टीच्यूड हिमालया प्रो. इण्डियन एकेडमी साइंस (अर्थ प्लैने. साइंस), 10(1), 89–98.

सिंह, सच्चिदानन्द, 1990 : वाराणसी में गंगा प्रदूषण – अवसादिकीय अध्ययन, अप्रकाशित शोध प्रबन्ध, बी.एच.यू., वाराणसी ।

सुब्रमनियम, वी. वान टी डॉक, एल और वान ग्रीकेन, आर., 1985 : प्रिलिमिनरी स्टडीज आफ दी जियोकेमिस्ट्री आफ दी कावेरी रिवर बेसिन, प्रो. इण्डियन एकेडमी साइंस (अर्थ प्लै. साइंस) 94(2), 99–110.

सुब्रमनियम, वी. वान. ग्रीकेन, आर. और वान टी डॉक, एल. 1987 : हेवी मटल्स डिस्ट्रीव्यूशन जियो. वाटर साइंस, 9(2), 93–103.

सुब्रमनियम, वी. वान ग्रीकेन, आर. और वान टी डॉक, एल. 1987 : ट्रांसपोर्ट एण्ड फ्रेक्शनेसन आफ लेड इनरिवर सेडिमेंटस फ्राम दी इण्डियन सब–कांटिनेन्ट, जर्नल, जियो. सोसा. इण्डियन, 30, 217–226.

श्रीवास्तव, अजय, 1990 : स्टडी ऑफ सेडिमेंटस ऑफ गंगा बिथ स्पेशल रिफेंश टू इफेक्टस ऑफ पाल्यूशन लोड इन मिर्जापुर, यू0पी0, अप्रकाशित शोध प्रबंध, बी.एच.यू., वाराणसी, 1–194.

श्रीवास्तव, अजय, मेहरोत्रा, एम0एन0 और शेखर, एच0, 1993 : स्टडी ऑफ मिनरल्स एण्ड आरगैनिक कन्टेन्टस इन द सेडिमेंटस ऑफ रिवर गंगा, मिर्जापुर रिजन, उत्तर प्रदेश, इण्डिया, बुलेटिन इण्डियन जियो0 एसो0, 26(1), 13–21.

श्रीवास्तव, अजय, मेहरोत्रा, एम0एन0 एण्ड तिवारी, आर0एन0, 1993 : स्टडी ऑफ पाल्यूशन ऑफ दी रिवर गंगा इन दी मिर्जापुर रिजन (इण्डिया) एण्ड इटस इम्पैक्ट ऑन सेडीमेंटस । इण्टरनेशनल जर्नल इनवायरमेंटल स्टडीज, 43, 201–208.

हिर्स्ट, डी0एम0, 1962 : द जियोकेमिस्ट्री ऑफ मॉडर्न सेडिमेन्टस फ्रॉम द गल्फ ऑफ पेरिया–11, द लोकेशन एण्ड डिस्ट्रिब्यूशन ऑफ द ट्रेस एलिमेन्टस जिओकेमि0 कॉसमोकेमि0 एक्टा, 26, 1147–1187.

हीड ब्रॉड, ई0ई0 और ब्लूम, डब्लू0ई0, 1974 : लेड फिक्सेशन बाई क्ले मिनरल्स, नाटुरविशेन शाप्टेन, 61, 128–129.