

Оценка химического состава поверхностных вод в Нерюнгринском угольнопромышленном районе (Южная Якутия)

Л.И. Кузнецова, А.П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия
chev.soil@list.ru

Аннотация. Изучено содержание главных ионов, биогенных элементов и микроэлементов – тяжелых металлов (ТМ) в поверхностных водах Нерюнгринского угольнопромышленного района на территории Южной Якутии. При этом использован комплекс аналитических и инструментальных химических методов анализа. Отмечено, что каменные угли Нерюнгринского угольного разреза (НУР) характеризуются средней зольностью (12-20 %), в составе золы данных углей преобладают оксиды кремния (40-60 %) и алюминия (16-22 %), а содержания оксидов Fe, Ca и Mg соответственно составляют 8-14, 4-10, 2-4 %. Окисленные угли имеют pH водной суспензии 7,1-7,2, в них содержится примерно 1 % общего N и по 0,01 % валового K и P, а также – 0,15-0,45 % S, поэтому они являются малофосфористыми и малосернистыми. Также данные угли не содержат значительных количеств ТМ, таких как As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn. Показано, что за прошедший 40-летний период эксплуатации НУР значительно изменился химический состав р. Чульман и её притоков в районах угледобычи. Так, значение pH увеличилось на 0,5 единицы, общая минерализация и жесткость воды возросли более чем в 3 раза, в то время как тип воды остался неизменным – гидрокарбонатно-кальциевым. Также в 5 раз возросло содержание нитратов и более чем в 3 раза общего P. Количество Cr в них изменялось от 1,0 до 1,7 мкг/л, Си – 0,7-4,0, Mn – 10,0-50,0, Mo – 0,5-0,8 и Zn – 5,0-18,0 мкг/л, а остальные ТМ, определенных атомно-эмиссионным спектрометрическим методом, находилось ниже предела обнаружения. Вместе с тем нужно констатировать, что все их значения не превышают предельно допустимые концентрации, предусмотренные ГОСТ СанПиН. Следовательно, в настоящее время, как и раньше, вода р. Чульман отвечает гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству вод, и вполне может быть использована для питьевого водоснабжения.

Ключевые слова: поверхностные воды, химический состав, изменение, загрязнение.

The estimation of chemical content of surface waters in Neryungri coal-mining region of Southern Yakutia

L.I. Kuznetsova, A.P. Chevychelov

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия
chev.soil@list.ru

Abstract. The content of main ions, biogenic elements and microelements – heavy metals (HM) in surface waters of Neryungri coal-mining region of Southern Yakutia have been studied. The complex of analytical and instrumental chemical methods of analysis has been applied. It was found that coal of Neryungri coal mine is characterized by average ash content of 12-20 %. The ash consisted predominantly of silicon (40-60 %) and aluminum oxides (16-22 %), and also contained Fe, Ca and Mg oxides of 8-14, 4-10, 2-4 % respectively. The aqueous suspension of oxidized coals had pH value of 7,1-7,2, they contained approximately 1 % of common N and about 0,01% of both total K and P, and 0,15-0,45 % of S, thus these coals were classified as low-phosphorus and low-sulfur. Also, these coals did not contain considerable amount of heavy metals such as As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb and Zn. It is evident that during the past 40-years period of coal mine operation the chemical composition of the Chulman River and its tributaries within the mining area has changed significantly.

Thus pH value has increased by 0,5, the total mineralization and hardness of water increased more than 3 fold, while the water type has not changed and remains of hydrocarbonate-calcium type. The content of nitrates and total P increased 5 and 3 times respectively. The content of Cr has changed from 1,0 to 1,7 mg/L, Cu – from 0,7 to 4,0 mg/L, Mn- from 10,0 to 50,0 mg/L, Mo – from 0,5 to 0,8 mg/L and Zn – from 5,0 to 18,0 mg/L. The content of other heavy metals estimated by the atomic emission spectrometry method was below the detection limit. It should be also noted that the content of all studied heavy metals did not exceed the maximum permissible concentration determined by State Standard Specifications and Sanitary and epidemiological regulations and guidelines. Therefore, at present as well as before, the water of the Chulman River satisfies the sanitary requirements and regulations for water quality, and may be used for drinking water supply.

Key words: surface waters, chemical composition, change, pollution.

Введение

Сегодня, когда основой мировой экономики является топливо сжигающая энергетика, экологическая ситуация в мире все более усугубляется. Главным источником энергии сейчас служит нефть, на которую приходится 30 % коммерческого энергопотребления; природный газ выступает как экологически предпочтительная альтернатива нефти; одну из ключевых ролей в производстве электроэнергии продолжает играть уголь.

При этом добыча полезных ископаемых, и в частности угля, рассматривается как один из видов и форм антропогенной нагрузки на водные ресурсы, связанный с хозяйственной деятельностью в пределах водного объекта [1].

Связанное с добычей угля извлечение из недр больших объемов горных пород и размещение их в отвалы захватывают нарушением значительные регионы, как по площади, так и по глубине. Под отвалы отторгаются десятки тысяч гектаров земли во многих районах пригодной для сельскохозяйственной деятельности. Непосредственно на поверхности карьеров, внешних и внутренних отвалов происходят процессы пылеобразования, что приводит к загрязнению почвы, воздуха, подземных и поверхностных вод [2].

Промышленные предприятия сбрасывают в реки, озера, моря сточные воды, содержащие десятки тысяч тонн растворенных в них химических соединений. Эти водоемы становятся непригодными при использовании их для хозяйственно-пищевых, промышленных, сельскохозяйственных нужд, в качестве мест отдыха населения, других разумных видов эксплуатации.

Сточные воды угольной промышленности состоят из стоков шахт и обогатительных фабрик. Зачастую шахтные воды относятся к:

- высокоминерализованным. Высокая минерализация обуславливается повышенным содержанием в них хлоридов, сульфатов, солей кальция, магния, калия [3]. Поступая в водоем, такие стоки увеличивают жесткость воды;

- показатели содержания магния, железа, сульфатов возрастают в 1,5-2 раза.

Основной целью представленной статьи являлась оценка химического состава поверхностных вод в Нерюнгринском угольнопромышленном районе в зависимости от ландшафтно-климатических условий исследуемой территории, масштабов и характера техногенного воздействия.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в южной части Алдано-Тимптонского междуречья на территории Нерюнгринского района Республики Саха (Якутия) в окрестностях г. Нерюнгри и пос. Чульман в зоне сформированного Южно-Якутского топливно-производственного комплекса, который является мощным источником загрязнения поверхностных вод [4].

В геоморфологическом отношении данная территория расположена в Чульманской впадине (плато в окружении среднегорных хребтов). Абсолютные отметки днища впадины составляют 700-800 м над уровнем моря, а окружающих горных хребтов – 1500-1800 м. В растительном покрове преобладает таежная растительность, в составе лесов абсолютно доминирует лиственница Каяндера, в значительно меньшей степени встречается сосна и заросли кедрового стланика. Климат в регионе резко континентальный, холодный и гумидный. За год выпадает 500-600 мм атмосферных осадков, причем большая их часть приходится на летние месяцы с максимумом во второй половине лета [5]. Гидрографическая сеть района вследствие большого количества осадков и расчлененности рельефа густая. Основное питание реки получают за счет талых и дождевых вод. Основная река в исследуемом районе – р. Чульман с её притоками – реками Верхней и Нижней Нерюнгри, подверженными воздействию со стороны Нерюнгринского угольного разреза в форме, главным образом, аэральных (минеральная и угольная пыль) и гидрогенных (поверхностные стоки) загрязнений. Основные гидрологические характеристики р. Чульман следующие: средняя скорость течения – 1,2 м/с; средний расход воды – 49,0 м³/с; средний годовой модуль стока – 12,8 л/с·км² [6].

В качестве количественной оценки современного эколого-геохимического состояния водных объектов исследуемого региона нами использовались предельно допустимые концентрации (ПДК) химических элементов [7].

При определении химических показателей исследуемых вод использовался ряд стандартных аналитических методов [8, 9]. Так рН и ОВП определялись потенциометрически на иономере «Мультитест ИПЛ-101», главные ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и Cl^- определялись титриметрическим, SO_4^{2-} – турбидиметрическим, а катионы Na^+ и K^+ – пламеннофотометрическими методами. Для определения биогенных элементов использовался спектрофотометр СФ-26 ЛОМО, а для Al и микроэлементов (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn) – атомно-эмиссионный спектрометр (метод ICP). При этом предел обнаружения данного метода для Al, Zn и As составлял – 0,01 мг/л, Ni – 0,009, Mo – 0,008, Co и Cr – 0,005, Cu и Pb – 0,002, Mn – 0,001, а Cd – 0,0005 мг/л. Учитывая исходно низкое содержание данных микроэлементов в исследуемых водах (ниже пределов обнаружения), изначально данные водные пробы предварительно концентрировались в 10-кратном количестве от объема.

Результаты и обсуждения

Южно-Якутский топливно-производственный комплекс начал формироваться в 1970-х гг., а в 1975 г. начал функционировать Нерюнгринский угольный разрез (НУР). Сегодня Южно-Якутский бассейн является основной базой коксующихся и энергетических углей на востоке России. Добыча углей здесь составляет ~ 9 млн.

т/год, причем 40 % продукции поставляется на экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона [10].

Угли НУР каменные со средней зольностью 12-20 %. В составе золы преобладают оксиды кремния (40-60 %) и алюминия (16-22 %). Содержания оксидов Fe, Ca и Mg соответственно составляют 8-14, 4-10, 2-4 % [11]. Окисленные угли имеют рН водной суспензии 7,1-7,2 и содержат обменные основания: поглощенный Ca – 6,4 мг-экв/100г, Mg – 2,2 и обменный K – 0,3 мг-экв/100г [5]. В них ~ 1 % общего N и всего по 0,01 % валового K и P, поэтому они являются малофосфористыми и малосернистыми. Содержание S в них колеблется от 0,15 до 0,45 % [12].

Филиал ОАО ХК «Якутуголь» – разрез «Нерюнгринский» является крупнейшим угледобывающим предприятием на Дальнем Востоке. Фактическая добыча угля по разрезу «Нерюнгринский» в 2011 составила 8635, 336 тыс. тонн, а объем вскрышных работ – 44 829 тыс. м³, при этом большая часть объема вскрышных пород или 48 079 тыс. м³ была размещена на внутренних отвалах, а меньшая их часть 886 тыс. м³ – на внешних отвалах. В 2011 году с поля осушения горных пород разреза «Нерюнгринский» было откачено 15099,79 тыс. м³ воды. Вода с полей осушения разреза используется для технологических нужд (полив автодорог) – 155,43 тыс. м³, часть – 539,80 тыс. м³ передается на обогатительную фабрику «Нерюнгринская», а оставшаяся вода после очищения в отстойнике сбрасывается в реку Верхняя Нерюнгри. Таким образом, около 14 000 тыс. м³ воды с отстойников ежегодно сбрасывается в р. Верхняя Нерюнгри [13].

Таблица 1

Содержание ТМ в различных компонентах углей, мг/кг

| Наименование | Mn | V | Cr | Co | Ni | Cu | Zn | Mo | Pb |
|--|------|-------|-------|------|------|------|------|-----|------|
| Угли Нерюнгринского угольного бассейна, Южная Якутия | | | | | | | | | |
| Угольная пыль | 511 | 143,4 | 110,8 | 11,2 | 34,8 | 17,8 | 49,3 | 1,8 | 12,1 |
| Зола углей | 635 | 88,7 | 79,5 | 10,2 | 30,4 | 17,2 | 55,3 | 3,5 | 26,0 |
| Зола углей других регионов (бассейнов) России [14, С. 205] | | | | | | | | | |
| Подмосковный | - | 18,1 | - | 16,3 | 16,4 | 6,0 | 60,7 | 1,9 | 43,5 |
| Восточно-Уральский | - | 53,0 | - | 24,1 | 90,6 | 39,0 | 9,2 | 2,2 | 23,0 |
| Южно-Уральский | - | 39,0 | - | 5,0 | 36,6 | 31,5 | - | 0,6 | 16,6 |
| Кузбасс | - | 14,0 | - | 6,7 | 13,4 | - | 26,1 | 3,7 | 28,6 |
| Дальний Восток | - | 16,9 | - | 6,4 | 56,0 | - | 7,8 | 2,6 | 10,0 |
| Среднее | - | 28,2 | - | 11,8 | 42,6 | 25,5 | 25,9 | 2,2 | 24,3 |
| Контрастность содержания (Кк) | - | 3,8 | - | 4,8 | 6,8 | 5,2 | 7,8 | 6,2 | 4,3 |
| Среднее содержание в почвах | | | | | | | | | |
| Почвы Южной Якутии [15] | 1118 | - | - | 17 | - | 28 | 85 | 1,0 | - |
| Почвы СССР [16] | 798 | 118 | 253 | 11,7 | 46,5 | 19,5 | 51,9 | 3,3 | 11,6 |

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В НЕРЮНГРИНСКОМ

Данные по микроэлементному составу компонентов Нерюнгринских углей приведены в таблице 1. Микроэлементный состав угольной пыли и золы НУР схожи, хотя в золе по сравнению с пылью относительно накапливаются Mn, Zn, Mo, Pb и уменьшается содержание V и Cr. Также необходимо отметить очень контрастный микроэлементный состав золы углей из различных регионов России, при этом значение коэффициента контрастности содержания (Кк), который представляет отношение максимального содержания микроэлемента к его минимальному количеству, изменяется от 3,8 до 6,8, то есть концентрация данных микроэлементов – тяжелых металлов (ТМ) в золе углей изменяется в 4-7 раз (табл. 1).

Последнее однозначно указывает на то, что состав углей конкретных угольных месторождений России определяется целиком их геолого-минералогическими и литолого-геохимическими особенностями. В этом плане Нерюнгринские угли не содержат значительных количеств тяжелых металлов– поллютантов по сравнению с почвами Южной Якутии и России в целом, которые могут накапливаться в почвогрунтах и затем поступать в поверхностные воды исследуемого региона. Таким образом, проведенный краткий анализ химико-минералогического состава пород внешних отвалов Нерюнгринского угольного разреза, являющихся основным источником техногенного загрязнения поверхностных вод Южно-Якутского топливно-производственного комплекса, убеждает в отсутствии в них высоко токсичных компонентов, которые в процессе гипергенной миграции могут накапливаться в р. Чульман и её притоках. На это также указывают и приведенные ниже данные (табл. 2).

Так содержание Cr в них изменялось от 1,0 до 1,7 мкг/л, Cu – 0,7-4,0, Mn – 10,0-50,0, Mo – 0,5-0,8 и Zn – 5,0-18,0 мкг/л. Наибольшие концентрации ТМ отмечались в наиболее минерализованной воде ручья, дренирующего восточный борт отвалов НУР, но при этом не превышали значений их ПДК. Остальные ТМ, такие как As, Cd, Co, Ni и Pb содержались в исследуемых водах в количествах ниже пределов обнаружения атомно-эмиссионного спектрометрического метода (ICP), то есть соответственно меньше 10, 0,5, 5, 9 и 2 мкг/л.

В заключение интересно отметить изменение химического состава и свойств поверхностных вод Южно-Якутского топливно-производственного комплекса как следствие влияния угледобычи в сравнительном аспекте. Для этого использовались данные по составу и свойствам воды р. Чульман, полученные в 1965 г. [6] до начала формирования данного комплекса и в 2007 г. (после 40-летнего периода эксплуатации Нерюнгринского угольного разреза). В связи с этим необходимо констатировать, что вследствие влияния техногенеза химические показатели воды р. Чульман значительно изменились (табл. 3, 4). Так, значение рН увеличилось на 0,5 единицы (с 6,6 до 7,1), общая минерализация и жесткость воды возросли более чем в 3 раза (соответственно с 35,2 до 113 мг/л и с 0,41 до 1,25 ммоль/л), в то время как тип воды остался неизменным (гидрокарбонатно-кальциевым). Также в 5 раз возросло содержание нитратов (с 0,05 до 0,25 мг/л) и более чем в 3 раза общего Р (с 0,003 до 0,01 мг/л). Последнее однозначно указывает на то, что выше отмеченные изменения химического состава и свойств воды р. Чульман в зоне Южно-Якутского топливно-производственного комплекса носят техногенный характер.

Т а б л и ц а 2

Содержание микроэлементов в речных водах районов угледобычи в летне-осеннюю межень 2007 г, мкг/л

| As | Cd | Co | Cr | Cu | Mn | Mo | Ni | Pb | Zn |
|---|-------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|
| Среднее течение р. Чульман, в 300 м выше моста между старым и новым г. Нерюнгри | | | | | | | | | |
| < 10 | < 0,5 | < 5 | 1,0 | 0,7 | 10,0 | 0,5 | < 9 | < 2 | 5,0 |
| Р. Верхняя Нерюнгри выше устья ручья, дренирующего борт отвала | | | | | | | | | |
| < 10 | < 0,5 | < 5 | 1,7 | 0,7 | 7,5 | 0,5 | < 9 | < 2 | 5,0 |
| Ручей, дренирующий борт отвала разреза «Нерюнгринский» | | | | | | | | | |
| < 10 | < 0,5 | < 5 | 1,7 | 4,0 | 50,0 | 0,8 | < 9 | < 2 | 18,0 |
| Р. Верхняя Нерюнгри в 15 м ниже устья ручья, дренирующего борт отвала | | | | | | | | | |
| < 10 | < 0,5 | < 5 | 1,2 | 0,7 | 37,5 | 0,7 | < 9 | < 2 | 7,5 |
| Р. Чульман, г. Нерюнгри, городской пляж | | | | | | | | | |
| < 10 | < 0,5 | < 5 | 1,2 | 3,0 | 25,0 | 0,5 | < 9 | < 2 | 5,0 |
| Р. Чульман, пос. Чульман, под мостом | | | | | | | | | |
| < 10 | < 0,5 | < 5 | 1,2 | 2,0 | 25,0 | 0,5 | < 9 | < 2 | 7,5 |

Изменение химического состава воды р. Чульман в летне-осеннюю межень

| Наименование участка | Дата отбора проб | рН | Ионы, мг/л / % экв | | | | | | | Сумма ионов, мг/л |
|---------------------------|------------------|-----|---------------------|--------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | |
| Р. Чульман – пос. Чульман | 04.08.1965 | 6,6 | $\frac{6,2}{33,0}$ | $\frac{1,2}{10,7}$ | $\frac{1,5}{6,3}$ | | $\frac{21,3}{37,3}$ | $\frac{3,7}{8,5}$ | $\frac{1,3}{4,2}$ | 35,2 |
| Р. Чульман – пос. Чульман | 03.08.2007 | 7,1 | $\frac{16,6}{27,5}$ | $\frac{5,1}{13,9}$ | $\frac{6,0}{8,6}$ | Сл.* | $\frac{64,1}{34,8}$ | $\frac{20,8}{14,3}$ | $\frac{1,0}{0,9}$ | 113,6 |

*Сл. – следовое количество иона.

Изменение содержания биогенных элементов в воде р. Чульман в летне-осеннюю межень, мг/л

| Наименование участка | Дата отбора проб | NH ₄ ⁺ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | P _{мин.} | P _{общ.} | Fe _{общ.} | Si |
|---------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----|
| Р. Чульман – пос. Чульман | 04.08.1965 | –* | 0,003 | 0,05 | – | 0,003 | 0,02 | 4,1 |
| Р. Чульман – пос. Чульман | 03.08.2007 | 0,19 | 0,007 | 0,25 | 0,005 | 0,010 | 0,05 | 3,9 |

*Прочерк – значение показателя не определено.

Учитывая значимость изменения химических показателей р. Чульман в районах угледобычи, вместе с тем нужно констатировать, что все их значения не превышают предельно допустимые концентрации, предусмотренные ГОСТ СанПиН (Питьевая вода..., 2002). Следовательно, в настоящее время, как и раньше, вода р. Чульман отвечает гигиеническим требованиям, предъявляемым к качеству вод, и вполне может быть использована для питьевого водоснабжения без всякого риска и опасности для здоровья проживающего здесь населения.

Выводы

1. Основным источником загрязнения речных вод Южной Якутии в районах угледобычи являются растворимые компоненты пород внешних отвалов угольных разрезов. За 40-летний период эксплуатации Нерюнгринского угольного разреза значимо изменился химический состав р. Чульман. Так, значение рН воды р. Чульман увеличилось на 0,5 единицы, жесткость и минерализация возросли более чем в 3 раза, а содержание нитратов и общего Р – в 5 и 3 раза соответственно.

2. Оценка содержания тяжелых металлов, таких как As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn в исследованных водах, указывает на то, что количество Cr в них изменялось от 1,0 до 1,7 мг/л, Cu – 0,7-4,0, Mn – 10,0-50,0, Mo – 0,5-0,8

и Zn – 5,0-18,0 мг/л, а остальных ТМ находилось ниже предела обнаружения метода ИСР.

3. При этом химический тип воды р. Чульман не изменился и остался гидрокарбонатно-кальциевым. В настоящее время воды данной реки могут быть использованы для питьевого водоснабжения без опасности и риска для здоровья проживающего здесь населения, так как значения всех исследуемых их химических показателей не превышают предельно допустимых концентраций, предусмотренных СанПиН.

Литература

1. *Антропогенные* воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. – М.: Наука, 2003. – 367 с.

2. *Федотова А.С.* Содержание тяжелых металлов в отвалах, образованных вскрышными породами на угольных разрезах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – № 1. – С. 200-205.

3. *Панина М.В.* Роль техногенных факторов в формировании гидрохимического режима в бассейне р. Миасс: авторефер. дис....канд. геогр. наук. – Челябинск, 2006. – 20 с.

4. *Чевычелов А.П., Кузнецова Л.И.* Изменение химического состава поверхностных вод р. Чульман и её притоков в районах угледобычи //

Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37. – № 5. – С. 612-617.

5. *Коноровский А.К.* Почвы севера зоны Малого БАМа. – Новосибирск: Наука, 1984. – 120 с.

6. *Ресурсы* поверхностных вод СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. Т. 17. Лено-Индигирский район. – 407 с.

7. *Питьевая* вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества СанПиН 2.1.4. 1074-01. – М.: Минздрав России, 2002. – 103 с.

8. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 443 с.

9. *Семенов А.Д.* Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 542 с.

10. *Научное* обеспечение развития горно-промышленных комплексов Республики Саха (Якутия) / Под ред. Алексева А.Н., Фридовского В.Ю. – Новосибирск: Наука, 2003. – 383 с.

11. *Каримова С.С.* Геологическая изученность Южно-Якутского бассейна // Геологическое строение и метаморфизм углей Южно-Якутского бассейна. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. – С. 6-29.

12. *Каримова С.С., Желинский В.М.* Угленосность и качество углей Южно-Якутского бассейна // Геологическое строение и метаморфизм углей Южно-Якутского бассейна. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1976. – С. 36-48.

13. *Государственный доклад* о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2011 году. – Якутск: Компания «Дани Алмас», 2012. – 216 с.

14. *Сапрыкин Ф.Я.* Геохимия почв и охрана природы. – Л: Недра, 1984. – 231 с.

15. *Еловская Л.Г., Чевычелов А.П., Шиндлер Д.Р.* Содержание и распределение микроэлементов в почвах Южной Якутии // Почвоведение. – 1986. – № 10. – С. 36-42.

16. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в почвах Западной Сибири // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 87-94.

Поступила в редакцию 29.11.2017