



СПЕКТРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАСТИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ С ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Е.В.Тимченко, П.Е.Тимченко, Е.А.Селезнева,
Н.В.Трезуб,
Самарский национальный исследовательский уни-
верситет имени академика С.П.Королева, Самара,
laser-optics.timchenko@mail.ru

Представлены результаты исследований влияния подземных вод, сопутствующих нефтегазоконденсатным месторождениям, на растительные биообъекты. С помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния изучены особенности спектра растений, произрастающих вблизи нефтяных месторождений. Основные изменения были зафиксированы на волновых числах 605 см^{-1} , 1440 см^{-1} и 1547 см^{-1} , что связано с изменением концентрации ионов брома, бора и хлорофилла в листьях растений. Предложен косвенный метод выявления зон для разведки нефтяных месторождений.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для нефтедобывающей отрасли многих стран все более остро встает вопрос о пополнении ресурсной базы углеводородов и обнаружении новых, дополнительных источников энергетического сырья. Поиски и разведка месторождений углеводородов – задача трудная и, главное, дорогостоящая. Поэтому разработка оперативных и дешевых способов обнаружения месторождений нефти и газа является актуальной проблемой.

Для оперативной оценки нефтегазоносности территории с минимальными затратами средств и времени применяют биогеохимические методы. Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых основаны на исследовании химического состава биологических объектов, как правило, растений [1, 2].

Известно, что содержание ионов брома и бора в растительности увеличивается над месторождениями нефти и газа. Предпосылкой такого утверждения является геохимический фактор, на основе которого регистрируются зоны нако-

SPECTRAL ESTIMATION OF PLANT TISSUE FROM OIL DEPOSIT AREAS

E.V. Timchenko, P.E. Timchenko, E.A. Seleznyova,
N.V. Tregub, Samara National Research University
named after Academician S.P. Korolev, Samara,
laser-optics.timchenko@mail.ru

The results of influence studies concerning underground waters accompanying oil, gas and condensate fields on vegetable biological objects are presented. By means of Raman scattering spectroscopy method the features of plants range growing near oil deposits are studied. The main changes were fixed on following wave numbers: 605 cm^{-1} , 1440 cm^{-1} , 1547 cm^{-1} associated with changes in concentration of bromine ions, boron and chlorophyll in leaves of plants. The indirect method of zones identification for investigation of oil deposits is offered.

INTRODUCTION

Now there is an increasing need to hydrocarbons resource base replenishment and detection of new and additional sources of energy commodities for oil industry. Searches and investigation of hydrocarbon fields is a difficult task and, above all is expensive. Therefore development of operational and cheap ways of oil and gas fields' detection is an urgent task.

For rapid assessment of oil-and-gas areas biogeochemical methods are applied with minimum costs in terms of time and money. Biogeochemical searches of mineral deposits are based on chemical composition research for biological objects as a rule, of plants [1, 2].

It is known that bromine and boron ions in vegetation increases over oil and gas fields. A precondition for such statement is that the geochemical factor on the basis of which zones of particular elements accumulation, first of all, of ions of bromine and boron [3] are registered.

In N.V. Dehtyaryova's work [4] hydrogeological features of underground waters of Northwest near-Caspian zone oil-and-gas Paleozoic complexes were considered.

It was shown that distinctiveness of underground waters accompanying oil, gas and



пления определенных элементов, в первую очередь ионов брома и бора [3].

В работе Дегтярёвой Н.В. [4] были рассмотрены гидрогеологические особенности подземных вод нефтегазоносных палеозойских комплексов Северо-Западного Прикаспия. Было показано, что отличительная особенность подземных вод, сопутствующих нефтегазоконденсатным месторождениям, – их минерализация. Среди веществ, содержащихся в воде, и растений, произрастающих в этих областях, автор выделяет такие как: фтор, бром, бор и другие.

Среди большого количества методов оценки химического состава растений выделяется спектроскопия комбинационного рассеяния, которая позволяет исследовать состав образцов с высокой степенью точности. На сегодняшний день спектроскопия комбинационного рассеяния [5] для контроля состояния растений уже стала одним из важнейших аналитических и исследовательских инструментов. Спектроскопия комбинационного рассеяния имеет ряд преимуществ: это неразрушающий и бесконтактный метод, не требующий подготовки пробы, достаточно экспрессный (время анализа – от секунд до минут), нет ограничений на содержание воды в образцах (как для ИК-спектроскопии). Так, в работе [6] с помощью метода комбинационного рассеяния было исследовано влияние близости дорожных магистралей на почву и растения. В ходе работы в образцах почвы и растений были обнаружены тяжелые металлы. Основные изменения были зафиксированы на волновом числе 1065 см^{-1} , соответствующем концентрации цинка. В работе [7] представлены результаты изучения взаимодействия двухвалентных катионов металлов с ДНК растений с помощью комбинационного рассеяния. Были выявлены основные волновые числа, на которых происходят изменения: 1239 см^{-1} , 1247 см^{-1} , 1263 см^{-1} и 1243 см^{-1} , соответствующие колебаниям ионов свинца, марганца, кадмия и меди. В работе [8] установлено, что на основе разницы волновых чисел 804 см^{-1} и 811 см^{-1} , соответствующих молекулам тимола и карвакрола, можно проводить оценку качества эфирных масел с помощью метода спектроскопии комбинационного рассеяния (КР-спектроскопии).

Целью проведенного исследования – проверить возможность применения КР-спектроскопии для обнаружения нефтегазовых месторождений по растительным биомаркерам.

condensate fields is their mineralization. The author distinguishes such elements as fluorine, bromine, boron and others from the substances which are contained in water and plants growing in these areas.

The Raman scattering spectroscopy which allows investigating the structure of samples with fine precision is distinguished from a large number of methods of plants chemical composition estimation. Today the Raman scattering spectroscopy [5] for plants condition monitoring has already become one of the most important analytical and research tools. The Raman scattering spectroscopy has a number of advantages among which there are non-destructive and non-contact method not demanding a sample preparation and is a rather rapid test method (analysis time is from seconds to minutes). There are no restrictions for water content in samples (as infrared spectroscopy). So the influence of road highways proximity on the soil and plants was investigated in work by means of a method of Raman scattering spectroscopy [6]. Heavy metals were found during work in samples of soil and plants. The main changes were found at the wave number of 1065 cm^{-1} corresponding to concentration of zinc. The work [7] was devoted to studying of bivalent cations of metals interaction with plants DNA by means of Raman scattering. The following main wave numbers where changes were detected: 1239 cm^{-1} , 1247 cm^{-1} , 1263 cm^{-1} and 1243 cm^{-1} corresponding to fluctuations of lead, manganese, cadmium and copper ions. It is established in work of authors [8] that it is possible to carry out the essential oils' quality evaluation test by means of the Raman scattering spectroscopy on the basis of 804 cm^{-1} and 811 cm^{-1} wave numbers difference of corresponding to molecules of thymol and carvacrol.

The research objective is an application of spectroscopy of the Raman scattering spectroscopy for detection of oil and gas fields with application of vegetable biomarkers.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCHES

Researches were carried out in two steps. At first laboratory experiments were performed and on this basis their hypothesis of oil impact on Raman scattering ranges of plants was put forward. Then field researches were conducted.

The method of Raman scattering spectroscopy implemented by means of the test bench described

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в два этапа. Сначала проводились лабораторные эксперименты, на основе которых была выдвинута гипотеза о воздействии нефти на КР-спектры растений. Затем проводились полевые исследования.

В качестве метода исследования был использован метод КР-спектроскопии, реализованный с помощью экспериментального стенда, описанного в работе [9]. Спектры комбинационного рассеяния обрабатывались в программной среде Mathematica'8. Погрешность метода не превышала 5,84%. Наибольший статистический разброс оптических параметров растительных объектов в пределах одной зоны исследования составляет 7,93%.

В качестве объекта лабораторных исследований был выбран горох посевной (*Pisum sativum*) и пшеница мягкая (*Triticum aestivum*). Образцы были разделены на пять групп, каждая группа выращивалась в трех горшках. Первая и вторая группа образцов была контрольной, растения выращивались в чистой почве (без добавления углеводов). Данные группы растений располагались вблизи образцов третьей и четвертой групп. В горшки к растениям третьей и четвертой групп в почву была добавлена чистая нефть с концентрацией 1 г/кг. Такая концентрация нефти равна ПДК для чистой нефти в почве [10]. Пятая группа растений выращивалась в шести горшках в отдельной комнате с целью исключения влияния паров нефти на спектральные особенности растений.

В качестве объекта полевых исследований был выбран одуванчик обыкновенный (*Taraxacum officinale*). Растения данного вида являются хорошими биоиндикаторами состояния окружающей среды [11].

В качестве исследуемых территорий Самарской области выбраны следующие:

- 1 зона – территория вблизи поселка Мирный, где расположено Белозерское месторождение;
- 2 зона – территория вблизи берега Волги, часть Загородного парка (контрольная зона).

Общая схема отбора образцов из исследуемых зон приведена на рис.1.

На поле вблизи поселка Мирный в настоящее время осуществляется добыча нефти из скважин (район Белозерско-Чубовского месторождения) [12]. Образцы отбирались вблизи от действующих и законсервированных скважин.



Рис.1. Общая схема с указанием зон отбора проб: 1 – поле вблизи поселка Мирный, приуроченное к Белозерскому месторождению; 2 – участок отбора образцов в Загородном парке г. Самары

Fig. 1. General chart with sampling zones indication: 1 is the field near Mirnyi settlement, associated with Belozersk deposit; 2 is the site of sampling in Country park of Samara

in work [9] was used as a research method. Processing of Raman scattering ranges was carried out in Mathematica 8 software environment. The error of a method did not exceed 5.84%. The greatest statistical variability of vegetable objects optical parameters within one zone of a research is 7.93%.

The field pea (*Pisumsativum*) and soft wheat (*Triticumaestivum*) were chosen as objects of laboratory researches. Samples were divided into five groups, and each group was grown up in 3 pots. The first and second group of samples were control; plants were grown up in the clear soil (without hydrocarbons addition). These groups of samples were settled down nearby with samples of the third and fourth groups. The pure oil with concentration of 1 g/kg was added to the soil contained in pots with plants of the third and fourth groups. Such oil concentration is equal to maximum allowable concentration for pure oil in the soil [10]. The fifth group of the oil was grown up in 6 pots in the certain room for the purpose



Расположенная вблизи берега Волги часть Загородного парка достаточно удалена от крупной дороги – улицы Ново-Садовой и отделена от нее более чем сотней метров леса, что снижает проникновение на исследуемый участок выхлопных газов.

Полевые эксперименты проводились на протяжении двух месяцев. В каждой зоне были отобраны по три объекта исследований. С каждого исследуемого листа снимались спектры в трех различных точках объекта. За время экспериментов были исследованы более 400 образцов растений и получены более 1200 спектров.

Параллельно проводился контроль освещенности, влажности и кислотности почвы с помощью прибора фирмы Soil Survey instrument модели КС-300 (погрешность определения рН – 0,5, уровней освещенности 9 градаций, влажности 9 градаций).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис.2 представлены характерные усредненные КР-спектры исследуемых образцов растений контрольной зоны и растений, взятых в зоне углеводородных месторождений, где наблюдается наличие нефти.

of exception of oil vapours influence on spectral features of plants.

The common dandelion (*Taraxacum officinale*) was chosen as a field research object. Plants of this type are good bioindicators of environment state [11].

The following zones were chosen as the explored territories of Samara oblast:

- The first zone is the territory near the Mirny settlement where there is the Belozersk deposit;
- The second zone is the territory located near the coast of Volga a part of the Country park (control zone).

The common scheme of sampling from the studied zones is provided in Fig. 1.

The oil extraction from wells is carried out now in the field near Mirny settlement (the area of the Belozersk and Chubovsky deposit) [12]. The samples were selected near operating and suspended wells.

The part of the Country Park located near the coast of Volga is rather removed from the large road, i.e. Novo-Sadovaya Street, and is separated from it by more than one hundred meters from

Анализ рис.2 и таблицы показывает большое количество различных составляющих, присутствующих в образцах растений. Но не каждое волновое число подходит в качестве критерия воздействия нефти. Так, волновые числа 740 и 1326 см^{-1} , пропорциональные концентрации хлорофиллов а и б, могут характеризовать воздействие других внешних факторов, что наблюдается в серии лабораторных и полевых исследований. Волновые числа 830 и 1220 см^{-1} , соответствующие концентрации ароматических углеродов и колебаниям ионов азота в алкалоидах, могут служить фактором оценки воздействия нефти, что видно по серии лабораторных исследований, но в полевых исследованиях изменения данных волновых чисел незначительны, что связано с тем, что растения в полевых условиях способны адаптироваться к высоким дозам ароматических углеродов и алкалоидам [20, 21]. Также не установлено связи между изменением концентрации D-глюкозы (915 см^{-1}), б-каротина (1522 см^{-1}) и воздействием нефти на растительную ткань [22]. Предположительно, данные вещества изменяются при воздействии посторонних факторов. В таблице дана расшифровка основных линий КР.

Поэтому в качестве показателя воздействия нефти были взяты волновые числа 605, 1440 и 1547 см^{-1} , пропорциональные концентрации брома, оксида бора и хлорофилла а. Известно, что изменение концентрации хлорофилла "а" в листьях растений служит информативным фактором воздействия окружающей среды [23], что в свою очередь отражается и на интенсивности КР. Также содержание ионов брома и бора в растительности увеличивается над месторождениями нефти и газа [11].

На рис.3 представлена зависимость интенсивности КР на перечисленных выше волновых числах для лабораторных растений от времени при действии нефти. Интенсивность КР на основных линиях, характеризующих влияние нефти на растения, для контрольных образцов остаются постоянными и имеют погрешность 7%.

В растениях одним из относительно постоянных параметров считается лигнин [17]. Таким образом, отношение интенсивности КР, пропорциональной концентрации колебаний ионов брома, бора и хлорофилла "а", к интенсивности КР, пропорциональной концентрации лигнина, может служить информативным показателем, определяющим влияние расположенных рядом нефтяных месторождений на растения. Поэтому в качестве оптического коэффициента, позволяющего определить присутствие залежей

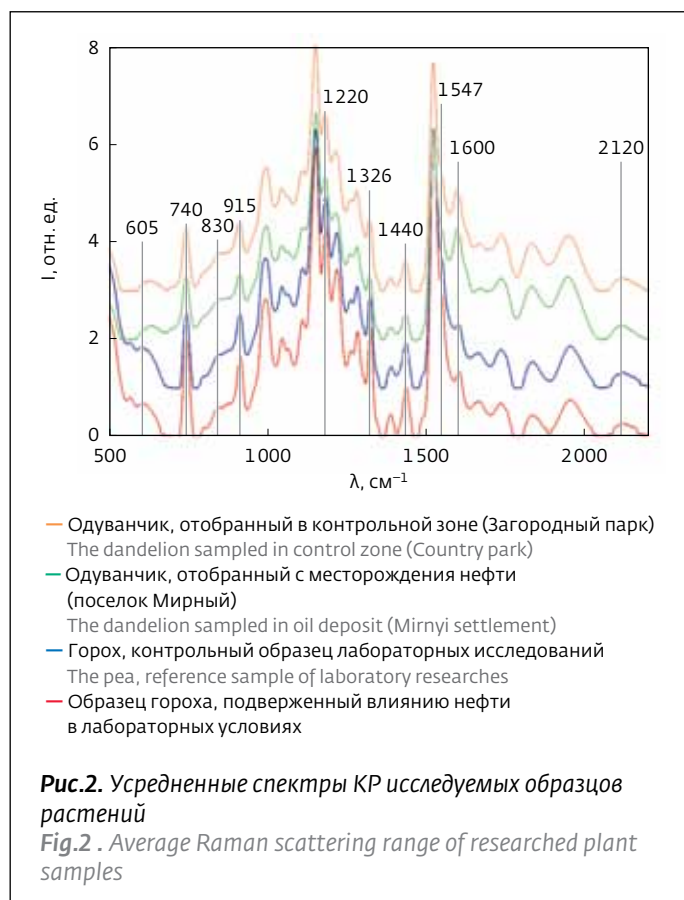


Рис.2. Усредненные спектры КР исследуемых образцов растений

Fig.2 . Average Raman scattering range of researched plant samples

the wood that reduces the penetration into the explored site of combustion gases.

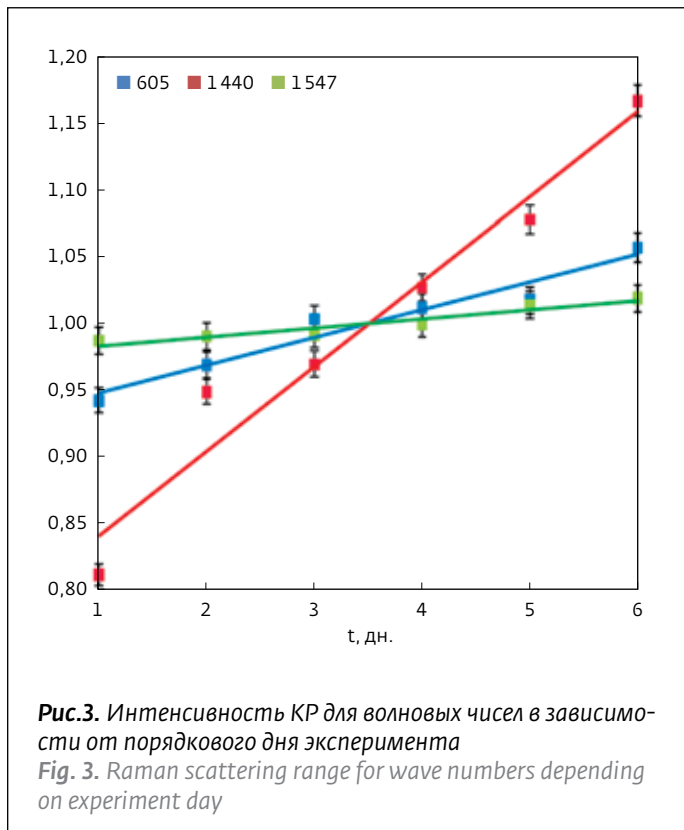
Field experiments have been performed for 2 months. Research objects were selected in each area. Ranges in three various points of object were recorded from each studied leaf. We investigated more than 400 exemplars of plants and more than 1200 ranges were received during the experiments.

The monitoring of illuminating intensity, humidity and acidity of the soil was carried out concurrently by means of the Soil Survey instrument device of KC-300 model (pH determination error is 0.5, illuminating intensity error is of 9 gradations, humidity error is of 9 gradation).

RESULTS OF RESEARCHES

The reference averaged Raman scattering ranges of the studied plants samples selected from a zone of hydrocarbonic deposits and in an inspection zone where oil presence is observed are presented in Fig. 2.

The analysis of Fig. 2 and Tab. 1 shows a large number of various components which are present



at plants' samples. But not every wave number can be used as a criterion of oil influence, so 740 and 1326 cm^{-1} wave numbers, proportional concentration of chlorophyll and a and b can characterize influence of other external factors that is observed in a series laboratory and field researches. 830 and 1220 cm^{-1} wave numbers, the corresponding concentration of aromatic carbons and fluctuations of nitrogen ions in alkaloids can be served as an oil influence evaluation factor that is obvious according to a series of laboratory researches, but the changes of these wave numbers are insignificant in field researches that is bound to the fact that plants are capable to adapt to high doses of aromatic carbons and alkaloids [20, 21] in field conditions. Also the connection between the change of D-glucose concentration (915 cm^{-1}), b-Carotinum (1522 cm^{-1}) and oil impact on vegetable tissue [22] was not established. Presumably, these substances are changed at foreign factors influence. The interpretation of base lines of Raman scattering is given in the table.

Therefore, 605, 1440 and 1547 cm^{-1} wave numbers, proportional concentration of bromine,



нефти, были введены следующие оптические коэффициенты:

$$H_1 = \frac{I_{605}}{I_{1600}}$$

$$H_2 = \frac{I_{1440}}{I_{1600}}$$

$$H_3 = \frac{I_{1547}}{I_{1600}},$$

где I_{605} - интенсивность КР на волновом числе 605 см^{-1} , пропорциональная валентным колебаниям ионов брома в листьях растений; I_{1440} - интенсивность КР на волновом числе 1440 см^{-1} , пропорциональная деформационным колебаниям ионов бора в листьях растений; I_{1547} - интенсивность КР на волновом числе 1547 см^{-1} , пропорциональная концентрации хлорофилла "а" в листьях растений; I_{1600} - интенсивность КР на волновом числе 1600 см^{-1} , пропорциональная концентрации лигнина в листьях растений.

С использованием введенных оптических коэффициентов были построены двумерные зависимости оптических коэффициентов H_1 от H_3 и H_2 от H_3 для полевых исследований (рис.4, рис.5). Анализ графических зависимостей показал, что точки объектов из контрольных группируются в области больших значений коэффициентов H_1 , H_2 и H_3 . Растения из зоны месторождения нефти характеризуются меньшими значениями коэффициентов H_1 и H_3 . Так например, при $H_1 < 0,1$, $H_2 < 0,33$ и $H_3 < 1$ характерны для зоны месторождения нефти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В результате проведенных исследований были получены особенности спектров комбинационного рассеяния растений, произрастающих в местах нефтяных залежей. Основные изменения были зафиксированы на волновых числах 605 см^{-1} , 1440 см^{-1} и 1547 см^{-1} , соответствующие валентным колебаниям ионов брома, бора и хлорофилла "а" в листьях растений.
- На основании проведенного двумерного анализа оптических коэффициентов (H_1 , H_2 и H_3) введены критерии разделения растений, произрастающих вне зоны и в зоне нефтяного месторождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности № 14.1114.2014/К (2014–2016 годы).

Расшифровка спектра КР

Interpretation of the Raman scattering range

| Волновое число, см^{-1} Wave number, см^{-1} | Вещество Substance |
|---|---|
| 605 | Колебания ионов брома [13, 14] Boron ions fluctuations [13, 14] |
| 740 | Хлорофилл а и b [15] Chlorophyll a and b [15] |
| 830 | Ароматические углеводы [13, 14] Aromatic hydrocarbons [13, 14] |
| 915 | D-Глюкоза [15] Dextroglucose [15] |
| 1150 | Валентные колебания в б-Каротине [16,17] Stretch vibrations in beta-carotene [16,17] |
| 1220 | Колебания ионов азота в алкалоидах [17] Nitrogen ions fluctuations in alkaloids [17] |
| 1326 | Хлорофилл а и б [16] Chlorophyll a and b [16] |
| 1440 | Деформационные колебания ионов бора [18] Deformation vibrations of boron ions [18] |
| 1522 | Валентные колебания в б-Каротине [16,17] Stretch vibrations in beta-carotene [16,17] |
| 1547 | Хлорофилл а [17] Chlorophyll a [17] |
| 1600 | Лигнин [19] Lignin [19] |
| 2120 | Метан [13, 14] Methane [13, 14] |

boron oxide and chlorophyll were taken as an index of oil influence. It is known that the change of "a" chlorophyll concentration in leaves of plants is served as an informational factor of environment influence [23] that also in turn affects the intensity of the Raman scattering. Also the content of ions of bromine and boron in vegetation increases over oil and gas deposits [11].

The dependence of Raman scattering intensity at wave numbers mentioned above for laboratory plants from time at oil effect is presented in Fig. 3. The intensity of Raman scattering on the base lines characterizing the oil influence on plants for reference samples remains constants and have an error of 7%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. Труды I Всесоюзного совещания по геохимическим методам поисков рудных месторождений / Под ред. Красникова В.И. – М.: Госгеолтехиздат, 1957.
Geohimicheskie poiski rudnyh mestorozhdenij v SSSR. Trudy I Vsesojuznogo so-veshhanija po geohimicheskim metodam poiskov rudnyh mestorozhdenij / Pod red. Krasni-kova V. I. – М.: Gosgeoltehzdat, 1957.
2. **Ковалевский А.Л.** Биогеохимические поиски рудных месторождений. 2-е изд. – М.: Недра, 1984.
Kovalevskij A.L. Biogeohimicheskie poiski rudnyh mestorozhdenij. 2-e izd. – М.: Nedra, 1984.
3. А.с. 894658 СССР. Биогеохимический способ поисков месторождений нефти и газа/ Л.Г. Комогорова, Е.В. Стадник, Л.В. Лапчинская, Н.Е. Журавель.
A.s. 894658 SSSR. Biogeohimicheskij sposob poiskov mestorozhdenij nefiti i ga-za/ L.G. Komogorova, E.V. Stadnik, L.V. Lapchinskaja, N.E. Zhuravel'.
4. **Якубович О., Урусов В.** Генетическая кристаллохимия фосфатов пегматитов. – Вестник МГУ. Сер. 4. Геология, 1996, № 2, с.28–54.
Jakubovich O., Urusov V. Geneticheskaja kristallohimija fosfatov pegmatitov. – Vestnik MGU. Ser. 4. Geologija, № 2, 1996, с.28–54.
5. **Седых В.Н., Игнатъев Л.А.** Влияние отходов бурения и нефти на физиологическое состояние растений. – Сибирский экологический журнал, 2002., № 1, с. 47–52.
Sedyh V.N., Ignat'ev L.A. Vlijanie othodov burenija i nefiti na fiziologicheskoe sostojanie rastenij. – Sibirskij jekologicheskij zhurnal, 2002., № 1, с. 47–52.
6. **Carrero J.A., Arana G., Madariaga J.M.** An important use of Raman spectroscopy to help understand the impact of traffic on roadside soils and

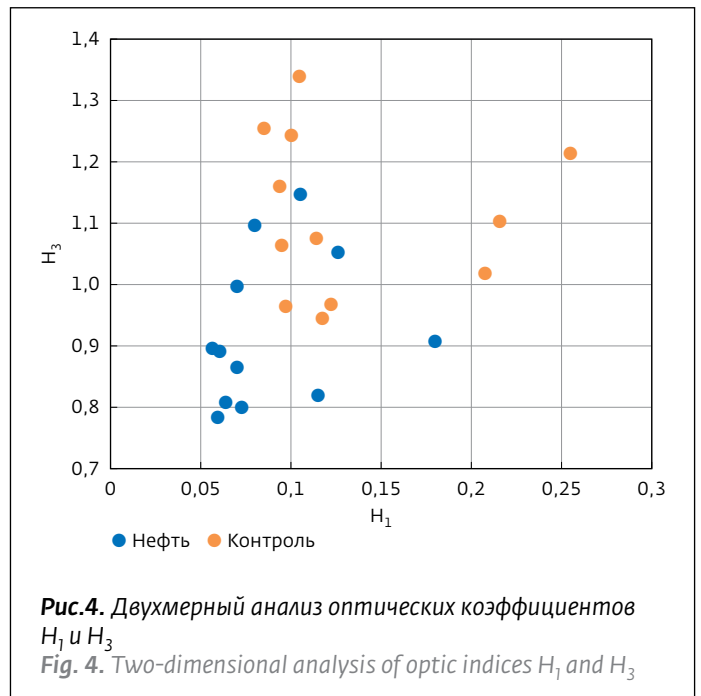
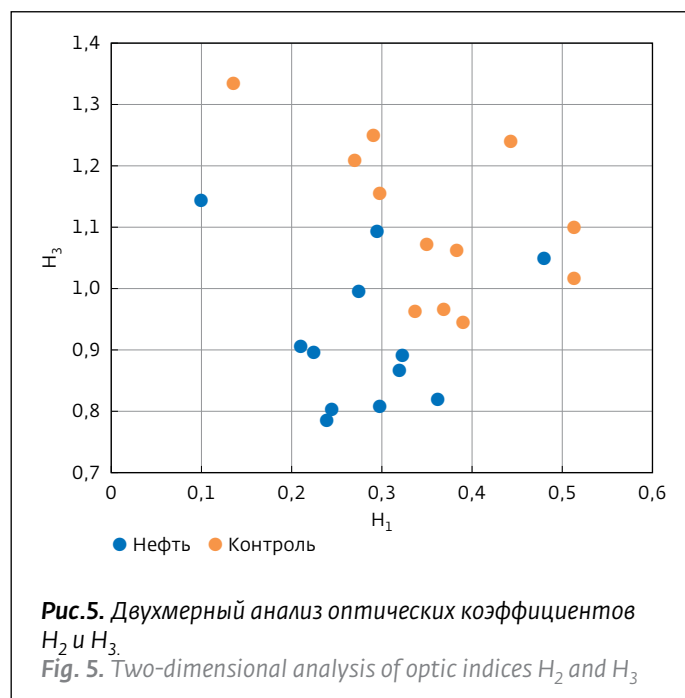


Рис.4. Двухмерный анализ оптических коэффициентов H_1 и H_3
Fig. 4. Two-dimensional analysis of optic indices H_1 and H_3

The lignine is considered as one of rather constant parameters in plants [17]. Thus, the ratio between Raman scattering intensity proportional to fluctuations concentration of ions of bromine,

- plants. – Spectroscopy Europe, 2012, v.24, № 5, p.10–15.
7. **Duguid J., Bloomfield V.A., Benevides J., Thomas G.J.** Raman spectroscopy of DNA-metal complexes. I. Interactions and conformational effects of the divalent cations: Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Co, Ni, Cu, Pd, and Cd. – Biophys J., 1993, Nov; 65 (5): p.1916–1928.
 8. **Schulz H., Özkan G., Baranska M., Krüger H., Özcan M.** Characterisation of essential oil plants from Turkey by IR and Raman spectroscopy. – Vibrational Spectroscopy, 2005, № 39, p.249–256.
 9. **Timchenko E.V., Timchenko P.E., Tregub N.V., Taskina L.A., Selezneva E.A.** Optical methods for control of hydrogen influence on plants. – Proc. SPIE, 2014, p. 9221–14.
 10. **Галинуров И.Р., Сафаров А.М., Кудашева Ф.Х., Хатмуллина Р.М., Смирнова Т.П.** Миграция нефтяных углеводородов в профиле приуростовых пойменных почв. – Вестник Башкирского университета, 2011, т. 16, № 1, с.47–52.
Galinurov I.R., Safarov A.M., Kudasheva F.H., Hatmullina R.M., Smirnova T.P. Migracija nefjanyh uglevodorodov v profile priurustovyh pojmennyh pochv. – Vestnik Bashkirskogo universiteta, 2011, t. 16, № 1, с.47–52.
 11. **Никольский В.И.** Одуванчик как возможный объект фенотипического мониторинга природных экосистем. – Проблемы устойчивости биологических систем: Тез. докл. всесоюз. школы. Харьков, 1990, с.99–101.
Nikol'skij V.I. Oduvanchik kak vozmozhnyj ob'ekt fenogeneticheskogo monitoringa prirodnyh jekosistem. – Problemy ustojchivosti biologicheskix sistem / Tез. dokl. vsesojuzn. shkoly. Har'kov, 1990, с.99–101.
 12. **Колганов В.И., Бережная Г.Н.** Проект разработки Белозёрско-Чубовского месторождения: Отчёт по НПР, Куйбышев: Гипровостокнефть. 1986 г., заказ-наряд 86.2522, этап 2.
Kolganov V.I., Berezhnaja G.N. Proekt razrabotki Belozjorsko-Chubovskogo mesto-rozhdenija: Otchjot po NPR, Kujbyshev: Giprovostokneft'. 1986 g., zakaz-narjad 86.2522, jetap 2.
 13. **Казицына Л.А., Куплетская Н.Б.** Применение УФ-, ИК-, ЯМР- и масс-спектрологии в органической химии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979.
Kazicyna L.A., Kupletskaja N.B. Primenenie UF-, IK-, JaMR- i mass-spektroskopii v organicheskoi himii. – М.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1979.
 14. **Сильверстейн Р., Басслер Г., Моррил Т.** Спектрометрическая идентификация органических соединений. – М.: Мир, 1977.
Sil'verstejn R., Bassler G., Morril T. Spektrometricheskaja identifikacija organicheskix soedinenij. – М.: Mir, 1977.
 15. **Meyer M.W., Lupoi J.S., Smith E.A.** 1064 nm dispersive multichannel Raman spectroscopy for the analysis of plant lignin. – Anal. Chim. Acta, 2011, № 706, p.164–170.
 16. **Baranska M., Romana M., Dobrowolski J.Cz., Schulz H., R.Baranski.** Recent Advances in Raman Analysis of Plants: Alkaloids, Carotenoids, and Polyacetylenes. – Current Analytical Chemistry, 2013, v.9, № 1, p.108–127.
 17. **Erdogdu Y., Unsalan O., Gulluoglu M.T.** Vibrational analysis of flavones. – Turk J. Phys, 2009, v.33, p.249–259.
 18. **Kamitsos E.I., Chryssikos G.D., Karakassides M.A.** New insights into the structure of alkali borate glasses. – XV International Congress on Glass, Leningrad, 1989. v.1b, p.34–37.
 19. **Adapa P., Karunakaran C., Tabil L., Schoenau G.** Potential Applications of Infrared and Raman Spectromicroscopy for Agricultural Biomass. – Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal, 2009, February. Manuscript 1081, v. XI, p.1–25.



boron and "a" chlorophyll and Raman scattering intensity proportional to lignine concentration can serve as an informative indicator defining the influence of oil deposits on plants. Therefore the following optic indices were input as the optical coefficient allowing defining the presence of oil deposits:

$$H_1 = \frac{I_{605}}{I_{1600}}$$

$$H_2 = \frac{I_{1440}}{I_{1600}}$$

$$H_3 = \frac{I_{1547}}{I_{1600}},$$

where I_{605} is the intensity of Raman scattering on a wave number of 605 cm^{-1} , proportional to stretching vibrations of bromine ions in leaves of plants; I_{1440} is the intensity of Raman scattering on a wave number of 1440 cm^{-1} , proportional to straining fluctuations of boron ions in leaves of plants; I_{1547} is the intensity of Raman scattering on a wave number of 1547 cm^{-1} , proportional to concentration of "a" chlorophyll in leaves of plants; I_{1600} is the intensity of Raman scattering on a wave number of 1600 cm^{-1} , proportional to concentration of a lignine in leaves of plants.

With use of input optical coefficients two-dimensional dependences of optical coefficients of H1 from H3 and H2 from H3 for field researches were made (Fig. 4, Fig. 5). The analysis of



20. **Геннадиев А. Н., Козин И. С., Шурубор Е. И., Теплицкая Т. А.** Динамика загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами и индикация состояния почвенных экосистем. – Почвоведение, 1990, № 10, с.75–85.
Gennadiev A. N., Kozin I. S., Shurubor E. I., Teplickaja T. A. Dinamika zagrijaz-nenija pochv policiklicheskimi aromatcheskimi uglevodorodami i indikacija sostojanija pochvennyh jekosistem. – Pochvovedenie, 1990, № 10, с.75–85.
21. **Орехов А. П.** Химия алкалоидов растений СССР / АН СССР. – М.: Наука, 1965.
Orehov A. P. Himija alkaloidov rastenij SSSR / AN SSSR. – М.: Nauka, 1965.
22. **Виноградов А. П.** Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой. – Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Наука, 1985, с.7–20.
Vinogradov A. P. Osnovnye zakonomernosti v raspredelenii mikrojelementov mezhdu rastenijami i sredoj. – Mikrojelementy v zhizni rastenij i zhivotnyh. – М.: Nauka, 1985, с.7–20.
23. **Васильева К. А., Зайцев Г. А., Кулагин А. Ю.** Состояние пигментного комплекса ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения. – Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник, 2011, № 3, с.51–54.
Vasil'eva K. A., Zajcev G. A., Kulagin A. Ju. Sostojanie pigmentnogo kompleksa assimiljacionnogo apparata klena ostrolistnogo (*Acer platanoides* L.) v uslovijah zagrijaz-nenija. – Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik, 2011, № 3, с.51–54.

characteristic curve showed that points of objects from control objects are grouped in the field of great values of coefficients of H1, H2 and H3. Plants from oil deposit zone are characterized by smaller values of indices of H1 and H3. So for example, $N2 < 0.33$ and $H3 < 1$ are specific for oil field zone at $H1 < 0.1$.

CONCLUSION

- As a result of conducted researches the features of Raman scattering ranges for plants growing in places of oil deposits were received. The main changes were recorded on 605 cm^{-1} , 1440 cm^{-1} and 1547 cm^{-1} wave numbers corresponding to stretching vibrations of ions of bromine, boron and "a" chlorophyll in leaves of plants.
- On the basis of performed two-dimensional analysis of optical indices (H1, H2 and H3) criteria of plants division growing out of zone and in zone of the oil field are entered.

The work is performed with financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within a design part of the government order across the fields of scientific activity No. 14.1114.2014/K (2014–2016).