

- Tojama, 1999, pp. 14–29 (in Japanese).
12. Shilin A.N., Shilin A.A. *Intellektualnie elektricheskie seti: problem i reshenija* [Intelligent electrical networks: problems and solutions], *Izvestiya Volgogradskogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, Vol. 3, No 8, pp. 84–88 (in Russian).
 13. Endsley M.R. Design and evaluation for Situation Awareness enhancement. *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting 1988*, Santa Monica, CA: Human Factors Society, Vol. 1, pp. 97–101.
 14. Eremchenko E., Tikunov V., Ivanov R., Massel L., Strobl J. Digital Earth and Evolution of Cartography, *Procedia Computer Science*, 2015, Vol. 66, pp. 235–238.
 15. *Geology and hydrocarbon prospects of the Okhotsk Sea: Report of Institute of Marine Geology and Geophysics*. The project manager is Dr. H. Gribidenko; Pacon Inc.; Petroconsultants SA, Geneva, Switzerland, Petroconsultants, 1992, 570 p.
 16. Geospatial Revolution Project, c2010, The Pennsylvania State University; <http://geospatialrevolution.psu.edu/>.
 17. von Hippel D. What Could an “Asian Super-grid” Mean for Northeast Asia?, NAPS Net Policy Forum, April 13, 2015; <http://nautilus.org/napsnet/napsnet-policy-forum/what-could-an-asian-super-grid-mean-for-northeast-asia/>.
 18. Kuhn T. *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago, Chicago, 1970, 2nd edition, enlarged, 210 p.
 19. UN official site, 1. General Assembly, Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015.

УДК 504.54

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-143-154

В.В. Дмитриев¹, А.Н. Огурцов², В.Ю. Разживин³

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА И ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АККУМУЛЯЦИИ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ОСТРОВА САХАЛИН

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен подход к интегральному оцениванию аккумуляции нефтяных углеводородов (НУВ) в почвенном покрове острова Сахалин. Картографической основой для этой работы была почвенная карта острова Сахалин масштаба 1:2 500 000. Всего на карте показаны 103 почвенных контура. В качестве дополнительного источника информации были использованы также материалы Национального атласа почв Российской Федерации. В качестве критерия аккумуляции НУВ предлагается использовать интегральный показатель, рассчитанный на основе 5 оценочных критериев. При выборе оценочных критериев были использованы работы отечественных исследователей. Критерии оценки по каждому почвенному контуру включают: гранулометрический состав, суммарную мощность органо-гумусовых горизонтов, содержание органического углерода в органо-гумусовых горизонтах и содержание органического углерода в минеральной части, а также наличие глеевого барьера.

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле; 199178, Россия, Санкт-Петербург ВО, 10-линия 33-35; e-mail: vasily-dmitriev@rambler.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле; 199178, Россия, Санкт-Петербург ВО, 10-линия 33-35; e-mail: aogurcov@yandex.ru

³ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН; 197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2; e-mail: volodyar@binran.ru

Расчёт интегрального показателя выполнен на принципах АСПИД-методологии. На основе этой методологии авторами была составлена карта потенциальной способности почвенного покрова острова Сахалин аккумулировать нефтяные углеводороды. На базе ГИС-технологии с использованием оценок интегрального показателя проведён анализ и выявлены особенности пространственной дифференциации аккумуляции НУВ в почвенном покрове.

Проведённые оценка и анализ аккумуляции нефтяных углеводородов показали, что наибольшей способностью закреплять НУВ обладают торфянистые и торфяно-глеевые болотные почвы. Наиболее низкой способностью аккумулировать нефтяные углеводороды обладают подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые). Почвы этой группы занимают 1% территории острова. В целом же почвы с низкой и очень низкой способностью закрепления НУВ занимают менее 36% территории.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

почва, нефтяные углеводороды, оценка аккумуляции, АСПИД, ГИС

ВВЕДЕНИЕ

Проблема оценки геохимической устойчивости почв к загрязнению нефтяными углеводородами (НУВ) – многоплановая и сложная, отражающая различные аспекты «способности почв нейтрализовать отрицательные эффекты воздействия загрязняющих веществ» [Глазковская, 1997]. Решение данной проблемы является одним из важнейших условий обеспечения экологической безопасности в районах добычи, транспортировки и переработки углеводородов [Геннадиев, 2009].

Многоплановый характер оценочных исследований устойчивости выражается в необходимости учитывать свойства и режимы почв, определяющие процессы деструкции (биохимического окисления), аккумуляции, выноса и рассеивания в ландшафтах нефтяных углеводородов. Сложность данной проблемы определяется, с одной стороны, отсутствием объективной меры измерения устойчивости почвы как эмерджентного свойства «биокосной природной системы» и, как следствие, необходимостью учёта множества показателей и параметров [Машкин и др., 2013]. С другой стороны, используемые при оценке параметры и критерии зачастую не только носят описательный характер и недостаточно формализованы, но и дают в совокупности несравнимый результат общей оценки. Несравнимость проявляется в том, что один фактор влияет на устойчивость сильнее другого или роль факторов изменяется во времени. В другом случае по одному индикатору устойчивость может быть оценена одним классом, а по другому (другим) – другим классом. В третьем примере по совокупности параметров, отражающих устойчивость к изменению элементов естественного режима, устойчивость может быть отнесена к одному классу, а при учёте группы параметров, отражающих антропогенный режим, – к другому. В четвёртом примере приоритеты, заданные разным индикаторам, могут изменить результат оценки на пол класса – один класс по сравнению с равновесным их учётом. Опыт исследователя должен способствовать отбору необходимых и достаточных параметров оценивания. Это позволит избежать ситуаций, при которых: 1 – по одному набору параметров один почвенный выдел более устойчив, чем другой, а по другому набору – наоборот; 2 – по разным исходным характеристикам «устойчивыми» и «неустойчивыми» могут оказаться разные почвенные выделы. В связи со сказанным, в современных исследованиях, как отмечено в работе [Дмитриев, Огурцов, 2014], большое внимание уделяется разработке индикаторов и индексов, отражающих отдельные стороны формирования эмерджентных свойств почв. Эти исследования затрагивают вопросы интеграции разнородных характеристик (факторов), ответственных за способность почв:

1) сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени или переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи;

2) сохранять способность почвенных экосистем возвращаться в исходное состояние после временного внешнего загрязнения и вопросы получения количественных показателей, характеризующих пространственно-временные особенности этого свойства.

Для этих целей были предложены и реализуются на практике различные методики оценивания устойчивости почв. Достаточно широкую известность получили балльная и балльно-индексная системы оценки, которые можно отнести к комплексному оцениванию устойчивости. Это наиболее распространённые подходы к оценке устойчивости. В частности, на идеях и принципах балльной системы эколого-геохимической оценки устойчивости построен картографический анализ устойчивости почвенного покрова территории России и отдельных её регионов, приведённый в обзоре [Gennadiev, Pikovskii, 2007].

Второй подход, называемый нами многокритериальным оцениванием, состоит в оценке устойчивости на основе индикативного подхода. Для этого выбираются или строятся отдельные индексы устойчивости, имеющие шкалы оценивания по классам устойчивости. Оценка устойчивости выполняется по каждому из индексов. Индекс может характеризовать какой-либо фактор, влияющий на устойчивость почв. Отличительной чертой многокритериального оценивания является упомянутая выше возможная несравнимость результатов оценивания по разным индексам или разным моделям построения интегральных показателей (т.н. моделям-классификациям). Здесь же выявляются методологические взгляды или промахи авторов, объединяющих в своих подходах разные виды устойчивости. При этом в одной модели можно встретить одновременное сочетание признаков адаптационной и регенерационной устойчивости. Такое сочетание признаков не оговаривается авторами, но следствием его является разнонаправленность используемых оценочных шкал [Огурцов, Хованов, 2003; Дмитриев, Огурцов, 2014].

Третий подход, названный авторами интегральной оценкой устойчивости, является современным продолжением многокритериального оценивания и отличается от второго подхода наличием многоуровневости и многокритериальности при построении шкал интегральных показателей. В этом подходе автор работает с несколькими индексами, характеризующими отдельные факторы оценивания. Здесь также реализуется возможность работы с т.н. «ннн-информацией», позволяющей учитывать неполную, неточную, нечисловую информацию при учёте приоритетов оценивания. Здесь же оценивается точность и достоверность оценивания интегральных показателей. Наиболее интересным развитием этого подхода, на наш взгляд, является возможность исследования ответной реакции системы на внешнее воздействие. При этом определяется возможность системы сохранять свои свойства и параметры режимов в пределах того класса, в котором система находилась до оказанного воздействия. Если система после оказанного воздействия по величине интегрального показателя перешла в другой класс состояния (устойчивости), то оказанное на неё воздействие считается недопустимым и приведёт к антропогенной трансформации системы.

В практическом плане для оценки потенциальной устойчивости почвенного покрова к загрязнению нефтяными углеводородами авторами выполнены исследования и составлены оценочные карты территории Инзырейского месторождения [Огурцов и др., 2007]; прохождения трассы проектируемого внутрипромыслового нефтепровода в районе посёлка Варандей на севере Ненецкого автономного округа Архангельской области [Машкин и др., 2013 и др.]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основе предлагаемых решений по интегральной оценке аккумуляции нефтяных углеводородов в почвах, как фактора устойчивости почвенного покрова, в качестве инструмента оценки используется методика синтеза отдельных (нормированных) показателей, базирующаяся на принципах АСПИД методологии [Хованов, 1996] в сочетании с использованием ГИС-технологии пространственного анализа на базе ГИС Mapinfo. На основных принципах

АСПИД (анализ и синтез показателей при информационном дефиците) построены расчётные алгоритмы системы GEO-expert [Васильев, Огурцов, Хованов, 2004], включая:

- алгоритм линеаризации, позволяющий переходить от частично упорядоченного по предпочтительности множества векторов отдельных (нормированных) показателей к линейно упорядоченному множеству интегральных оценок;
- алгоритм арифметизации, позволяющий получать числовые оценки для исходной нечисловой информации, лежащей в основе построения показателей и определения весовых коэффициентов;
- алгоритм рандомизации, позволяющий моделировать дефицит информации, обычно существующий на всех этапах синтеза интегральных оценок.

Последовательность выполнения расчётных операций по построению интегрального показателя включает:

- формирование вектора исходных характеристик, каждая из которых необходима, а все вместе достаточны для оценивания состояния системы или её свойства;
- формирование из массива исходных характеристик смысловых групп (уровней), описывающих систему или факторы, влияющие на исследуемое свойство системы, и организация иерархической системы оценки;
- формирование вектора отдельных (нормированных) показателей исследуемого свойства (устойчивость) как функции исходных параметров, характеризующих данное свойство с точки зрения отдельных критериев;
- выбор синтезирующей функции, определяющей интегральный показатель (индекс), по значению которого формируется интегральная оценка;
- оценку значимости отдельных (нормированных) показателей на интегральную оценку путём формирования вектора весовых коэффициентов с учётом приоритетов оценивания.

В данной статье нами проведена работа по интегральной оценке способности почвенного покрова аккумулировать нефтяные углеводороды. В качестве модельной территории была выбрана Сахалинская область (в границах острова Сахалин). Нефтегазовая отрасль области играет ведущую роль в экономике региона.

В качестве основного источника информации при проведении оценочных исследований были использованы материалы Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР) [Единый государственный реестр... , 2014].

Пространственная информация электронной версии ЕГРПР представлена контурами (полигонами) цифровой почвенной карты, с которой связана атрибутивная информация базы данных. Атрибутивная база данных содержит различные характеристики и параметры почв, отражающие морфогенетическое строение, физико-химические свойства, вещественный состав и др. Электронная карта почвенного покрова острова Сахалин масштаба 1:2 500 000 содержит описание типов почв и почвенных комплексов.

В качестве источника информации были использованы также материалы Национального атласа почв Российской Федерации [Национальный атлас... , 2011].

Согласно [Gennadiev, Pikovskii, 2007], важным условием аккумуляции углеводородов и закрепления их в почвенном профиле является наличие сорбционных и экранирующих барьеров. К факторам, отражающим потенциальную способность почв аккумулировать углеводороды на сорбционных барьерах, относят органогенные и гумусовые горизонты почв. В качестве оценочных критериев органогенно-гумусовых горизонтов почв рассматриваются мощность горизонтов и процентное содержание в них органического углерода [Gennadiev, Pikovskii, 2007].

Для оценки аккумуляции углеводородов минеральными компонентами в качестве оценочных критериев используют характеристики гранулометрического состава почвы и содержание органического углерода в ней. Известно, что почвы лёгкого гранулометрического со-

става (песчаные и супесчаные) обладают низкой сорбционной способностью [Gennadiev, Píkovskii, 2007].

В районах распространения многолетнемёрзлых пород (ММП) в качестве критерия, отражающего экранирующую способность почв и оказывающего влияние на радиальную миграцию нефтяных углеводородов, используют глубину залегания кровли ММП. Также в качестве экранирующих барьеров выделяют глеевые горизонты тяжёлого гранулометрического состава и верхнюю границу почвенно-грунтовых вод. В обзорной работе И.В. Замотаева с соавторами [Zamotaev *et al.*, 2015] отмечается, что глеевые барьеры, залегаая, в среднем, на глубинах 30–70 см, оказывают влияние на радиальную миграцию углеводородов по почвенному профилю, ограничивая её. Вследствие этого имеет место не только накопление НУВ в органогенных горизонтах почвы, но и увеличение их содержания на глеевом барьере [Сотникова, Липатов, 2010]. По данным Т.М. Побережной [2006], глеевый геохимический барьер в ландшафтно-геохимических условиях о. Сахалин является важным фактором, обуславливающим региональные особенности накопления НУВ.

Из приведённых выше данных следует, что способность почв закреплять нефтяные углеводороды можно описать системой исходных характеристик, т.е. контуры цифровой почвенной карты ЕГРПР могут быть описаны вектором числовых исходных характеристик x_i, \dots, x_m , аккумуляции НУВ. Тогда j -й почвенный контур ЕГРПР может отождествляться с числовым вектором $x^{(j)} = (x_1^{(j)}, \dots, x_m^{(j)})$. Всего почвенных контуров 103.

В качестве исходных характеристик при интегральной оценке потенциальной способности почвенного покрова аккумулировать НУВ нами рассмотрены следующие пять ($m=5$) критериев:

- x_1 – мощность органогенно-гумусовых горизонтов (ОГГ);
- x_2 – содержание органического углерода (%) в ОГГ;
- x_3 – оценка гранулометрического состава минеральной части;
- x_4 – содержание органического углерода (%) в минеральной части;
- x_5 – глеевый барьер (% глеевой почвы от площади почвенного полигона).

Так как рост величины исходных характеристик сопровождается увеличением степени аккумуляции нефтяных углеводородов в почве, то для формирования системы отдельных (нормированных) показателей $q_i(x_i)$, характеризующих оценку аккумуляции почвенного покрова с точки зрения выбранных отдельных критериев, используется функция линейного нормирования исходных характеристик вида

$$q_i = q_i(x_i) \begin{cases} = 0, & x_i \leq x_{\min} \\ = ((x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}))^n, & x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max} \\ = 1, & x_i \geq x_{\max} \end{cases}$$

В качестве границ интервалов при нормировании используются минимальные и максимальные значения соответствующих исходных характеристик из базы данных ЕГРПР. Теперь j -й почвенный контур ЕГРПР может быть отождествлен с вектором $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$, $0 \leq q_i^{(j)} \leq 1$ значений отдельных показателей аккумуляции, который представляет собой многокритериальную оценку потенциальной способности этого почвенного контура аккумулировать НУВ.

Решение указанной выше проблемы несравнимости многокритериальных оценок осуществляется путем построения интегрального показателя $Q^{(j)}$ по вектору отдельных показателей $q^{(j)} = (q_1^{(j)}, \dots, q_m^{(j)})$.

В качестве интегрального показателя используется линейная функция, представляющая собой взвешенное среднее арифметическое значений отдельных (нормированных) показате-

лей вида $Q = Q(q; w) = \sum_{i=1}^m q_i w_i$. Значимость отдельных показателей определяется конечным множеством допустимых векторов весовых коэффициентов $w = (w_1, \dots, w_m)$.

Существуют различные способы задания весовых коэффициентов. Предложенное Н.В.Ховановым [Хованов, 1996] решение проблемы неопределённости задания (выбора) весовых коэффициентов основано на использовании байесовской модели рандомизации неопределённости. В качестве числовой оценки конкретного вектора весовых коэффициентов принимается математическое ожидание случайной величины рандомизированного весового коэффициента. Точность такой оценки характеризуется стандартным отклонением рандомизированного весового коэффициента. При моделировании весомости отдельных показателей используются алгоритмы формализации нечисловой, неточной и неполной информации. Согласно [Хованов, 1996], алгоритм формализации суждений типа «больше», «меньше», «равно» и генерации весовых коэффициентов основан на методе последовательного перебора в лексикографическом порядке монотонных путей, заданных на целочисленной решетке и взаимно однозначно определяющих соответствующий вектор весовых коэффициентов. Отметим, что элементы вектора весовых коэффициентов w_1, \dots, w_m удовлетворяют условиям $0 \leq w_i \leq 1$ и $w_1 + \dots + w_m = 1$.

Использование вектора рандомизированных весовых коэффициентов в функции свёртки отдельных (нормированных) показателей приводит к получению рандомизированных интегральных показателей, для которых получают аналогичные статистические характеристики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Подготовка исходных данных и расчёт интегрального показателя аккумуляции НУВ осуществлялись в системе Geo_Expert с помощью обращения и работы с электронными таблицами типа MS Excel. Результаты анализа опубликованных материалов Т.М. Побережной [Побережная, 2006] легли при расчёте интегрального показателя в основу учёта значимости отдельных критериев, отражающих региональные особенности накопления НУВ согласно заданному условию: $X_5 > X_1 = X_2 = X_3 = X_4$.

В таблице 1 приведены оценки весовых коэффициентов.

Таблица 1. Оценки весовых коэффициентов при расчёте интегральных показателей аккумуляции НУВ
Table 1. Evaluation of the weighting factors in the calculation of the integral indicators of PHc accumulation

Оценочный критерий	Mw _i (I)	Sw _i (I)
X ₁	0,075	0,055
X ₂	0,075	0,055
X ₃	0,075	0,055
X ₄	0,075	0,055
X ₅	0,7	0,224

Проведённые расчёты интегральных показателей позволили оценить и картировать территорию острова Сахалин по способности аккумулировать НУВ в почвенном покрове. В целях уменьшения ошибки и повышения качества привязки результата к определённому почвенному полигону (таблица 2) оценочная шкала интегрального показателя была разбита на диапазоны, исходя из предположения, что значения интегрального индекса распадаются на несколько отчётливых групп («естественная группировка»). В соответствии с градациями шкалы все типы почвенных полигонов ранжированы и сведены в 5 бонитировочных групп.

**Таблица 2. Интегральные показатели аккумуляции НУВ
в почвенном покрове острова Сахалин**
**Table 2. Integral indicators of the PHc accumulation
in the soil cover of Sakhalin Island**

Номер поч- венного по- лигона на карте	Интеграль- ный показатель	Номер поч- венного полигона на карте	Интеграль- ный показатель	Номер поч- венного поли- гона на карте	Интеграль- ный показатель
16725	0,148	19714	0,148	21647	0,235
16801	0,129	19848	0,831	21649	0,148
16951	0,191	19882	0,208	21798	0,676
16972	0,148	19908	0,235	21920	0,850
17112	0,018	19946	0,148	22140	0,336
17123	0,191	19953	0,148	22177	0,235
17254	0,018	20005	0,033	22204	0,261
17425	0,191	20034	0,192	22209	0,284
17447	0,199	20114	0,850	22301	0,265
17470	0,018	20306	0,192	22308	0,191
17553	0,191	20331	0,659	22319	0,161
17648	0,018	20358	0,235	22380	0,235
17696	0,676	20382	0,191	22431	0,124
17776	0,018	20398	0,304	22432	0,161
17862	0,851	20419	0,192	22462	0,033
17906	0,679	20425	0,819	22502	0,235
17913	0,018	20468	0,235	22513	0,143
17948	0,174	20507	0,191	22526	0,206
17998	0,191	20520	0,235	22557	0,161
18038	0,191	20535	0,235	22571	0,161
18042	0,679	20537	0,323	22594	0,318
18119	0,191	20563	0,235	22595	0,033
18215	0,816	20625	0,235	22601	0,850
18288	0,608	20708	0,318	22713	0,235
18439	0,129	20718	0,235	22726	0,352
18453	0,851	20751	0,191	22772	0,161
18460	0,174	20800	0,191	22834	0,235
18622	0,366	20866	0,191	21318	0,675
18981	0,129	20959	0,191	21338	0,191
19014	0,251	20963	0,678	21412	0,161
19050	0,251	21028	0,235	19623	0,251
19106	0,304	21040	0,161	19627	0,251
19125	0,819	21159	0,851	19636	0,251
19154	0,191	21163	0,235		
19285	0,643	21181	0,235		

Картографическое отображение (рисунок 1) результатов расчёта и их ГИС-анализ показали, что на Сахалине почвы с высокой и наиболее высокой способностью аккумулировать НУВ занимают около 46% территории острова. Наиболее высоким показателем аккумуляции (0,851) характеризуются торфянистые и торфяно-глеевые болотные почвы полигонов 17862,

18453 и 21159. Наиболее низкие значения интегрального индекса характерны для подзолов иллювиально-железистых (подзолы иллювиально-малогумусовые) полигонов 17112, 17254, 17470, 17648, 17776 и 17913. Почвы этой группы занимают 1% территории острова. В целом же почвы с низкой и очень низкой степенью аккумуляции НУВ занимают менее 36% территории.

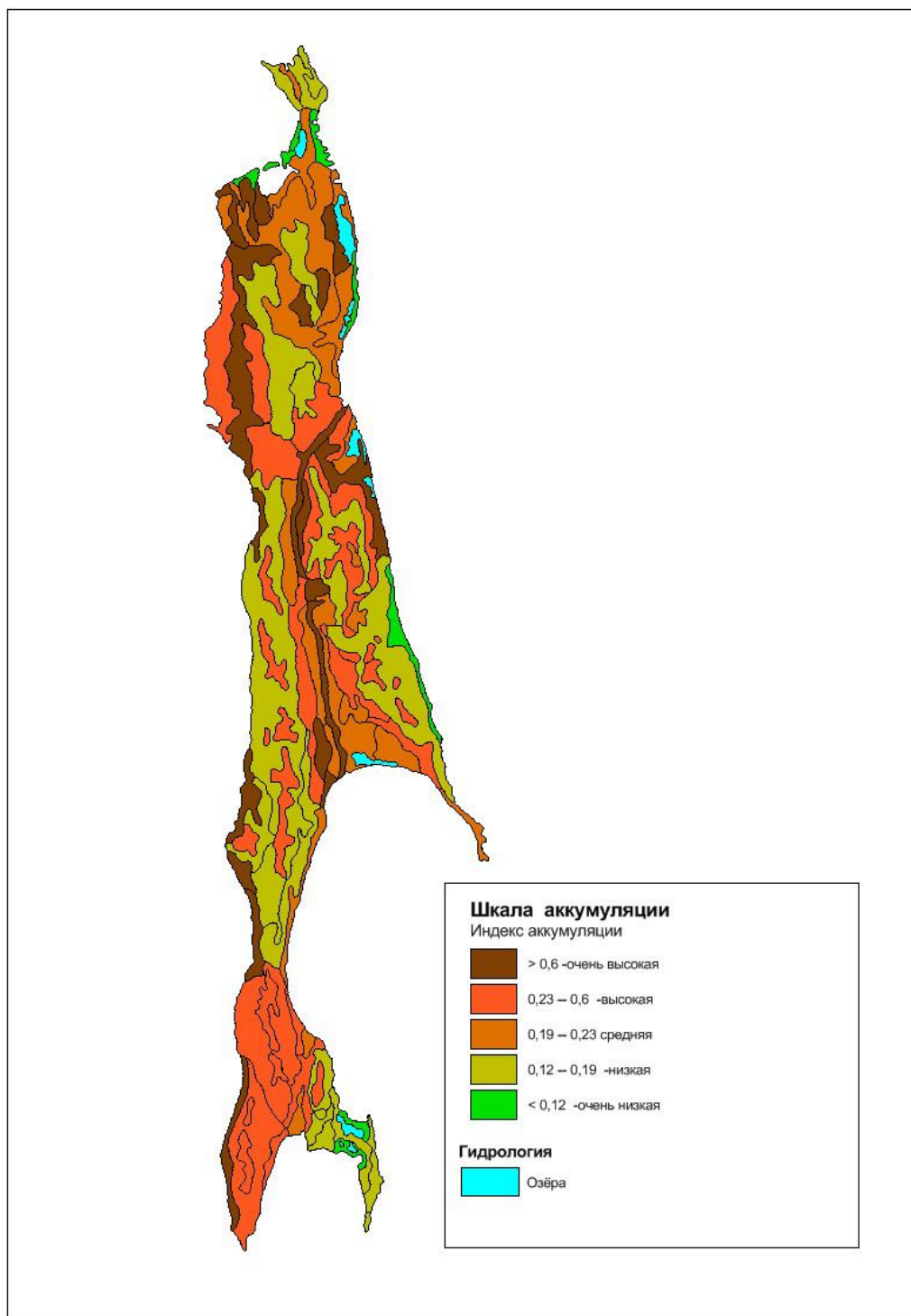


Рисунок 1. Районирование территории острова Сахалин по величине интегрального показателя аккумуляции нефтяных углеводородов в почвенном покрове

Figure 1. Zoning of the Sakhalin Island territory in terms of the integral value of petroleum hydrocarbons accumulation in the soil cover

ВЫВОДЫ

Использование АСПИД-методологии на базе исследований и расчётов интегрального показателя аккумуляции нефтяных углеводородов в почвенном покрове о. Сахалин, позволило оценить региональные особенности потенциальной способности почв закреплять НУВ. На острове преобладают почвы с высокой и очень высокой способностью аккумулировать НУВ. Лишь один процент территории острова занимают почвы (подзолы иллювиально-малогумусовые) с очень низкой степенью аккумуляции НУВ. Этот параметр наряду с другими может в дальнейшем использоваться для интегральной оценки устойчивости почв к изменению параметров естественного и антропогенного режимов функционирования почвенных экосистем. Важным моментом в процессе оценки устойчивости почвенного покрова будет также разработка интегральных критериев, отражающих свойства и компонентный состав НУВ.

На этих же принципах может основываться интегральная оценка других факторов устойчивости почвы. Совместная многокритериальная и многоуровневая оценки факторов устойчивости позволит в дальнейшем оценить устойчивость почвы к изменению параметров естественного и антропогенного режимов с учетом региональных особенностей территории.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку исследований по оценке устойчивости в рамках выполнения гранта РФФИ № 16-05-00715-а, а также Институту наук о Земле СПбГУ за помощь в организации работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев В.Ю., Огурцов А.Н., Хованов Н.В.* Организация специализированных приложений для ГИС на принципах АСПИД методологии // Устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение и практический опыт. Материалы международной конференции ИнтерКарто 10. Владивосток (Россия) – Чаньчунь (КНР). – 2004. – С.134–143.
2. *Геннадиев А.Н.* Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. – Сер. 5. География. – 2009. – № 6. – С. 30–39.
3. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: методическое пособие. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1997. – 102 с.
4. *Дмитриев В.В., Огурцов А.Н.* Подходы к оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем // Вестник СПбГУ. – Серия 7. – Вып.4. – 2014. – С. 114–130.
5. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. – 2014. – 768 с.
6. *Машкин Ю.Л., Орлов С.В., Разживин В.Ю., Огурцов А.Н.* Интегральная оценка и пространственный анализ потенциальной устойчивости почвенного покрова большеземельской тундры к загрязнению нефтяными углеводородами // Инженерные изыскания. – 2013. – № 13. – С. 60–67.
7. Национальный атлас почв Российской Федерации / Под ред. чл.-корр. РАН С.А. Шобы. – М.: АСТРЕЛЬ, 2011. – 632 с.
8. *Огурцов А.Н., Хованов Н.В.* АСПИД-картографирование оценок экологического состояния и устойчивости географических систем // ГИС для устойчивого развития территорий: материалы Международной конференции ИнтерКарто-9. – Новороссийск – Севастополь, 2003. – С. 370–377.

9. Огурцов А.Н., Разживин В.Ю., Пигольцина Г.Б., Хованов Н.В. Геоинформационный анализ и синтез показателей устойчивости почвенного покрова к загрязнению нефтяными углеводородами при информационном дефиците // ИнтерКарто/ИнтерГИС 13: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. – Материалы Международной конференции Ханты-Мансийск – Йеллоунайф, 12–24 августа 2007 г. – Ханты-Мансийск: Изд-во Полиграфист, 2007. – Т. 1. – С. 189–196.
10. Побережная Т.М. Ландшафтно-геохимические исследования на Сахалине // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2006. – № 1. – С. 109–114.
11. Сотникова Е.Г., Лунатов Д.Н. Миграция углеводородов нефти в почвах северо-востока острова Сахалин // Вестник Московского университета. – Серия 17: Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 35–42.
12. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. – 204 с.
13. Gennadiev A.N., Pikovskii Yu.I. The maps of soil tolerance toward pollution with oil products and polycyclic aromatic hydrocarbons: methodological aspects // Eurasian Soil Science. – 2007. – Vol. 40. – № 1. – Pp. 70–81.
14. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Nikonova A.N. Chemical Contamination and Transformation of Soils in Hydrocarbon Production Regions // Eurasian Soil Science. – 2015. – Vol. 48. – No. 12. – Pp. 1370–1382.

Vasiliy V. Dmitriev¹, Alexander N. Ogurtsov², Vladimir Yu. Razzhivin³

INTEGRATED ASSESSMENT AND GEOSPATIAL ANALYSIS OF ACCUMULATION OF PETROLEUM HYDROCARBONS IN THE SOIL COVER OF SAKHALIN ISLAND

ABSTRACT

The article considers the approach to the integral estimation of the assessment of petroleum hydrocarbons (PHc) in the soil cover of Sakhalin Island. The soil map of Sakhalin was used as the cartographic base for this work. The soil map includes 103 soil polygons. An additional information on soils was also taken from The Soil Atlas of the Russian Federation. As an integral criterion for the accumulation of PHc, it is proposed to use an integral indicator calculated on the basis of 5 evaluation criteria. The choice of criteria for the assessment was based on the works of Russian scientists. The evaluation criteria on each of the polygons include information on the soil texture, the total thickness of the organic and humus horizons, the content of organic carbon in these horizons and the content of organic carbon in the mineral horizons, as well as the presence of a gley barrier.

The calculation of the integral indicator is based on the principles of the ASPID methodology. On this basis, the authors compiled the map of the potential capacity of Sakhalin soils to accumulate petroleum hydrocarbons. On the basis of GIS-technology using the estimates of the integral indicator, the analysis has been performed revealing the features of spatial differentiation of PHc accumulation in the soil cover.

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences; 199178, Russia; St. Petersburg, VO, 10-line 33-35; e-mail: vasiliy-dmitriev@rambler.ru

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences; 199178, Russia; St. Petersburg, VO, 10-line 33-35; e-mail: aogurtsov@yandex.ru

³ Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences; 197376, Russia; St. Petersburg, Professor Popov st 2; e-mail: volodyar@binran.ru

The analysis and assessment of the accumulations of petroleum hydrocarbons has shown that peaty and peat boggy soil have the greatest ability to holding the PHc. The lowest ability to accumulate petroleum hydrocarbons is typical of illuvial-ferruginous podzols (illuvial low-humic podzols). The soils of this group occupy 1% of the island. In general, soils with low and very low hydrocarbon accumulation capacity occupy less than forty percent of the territory.

KEYWORDS:

soil, petroleum hydrocarbons, estimation of accumulation, ASPID, GIS

REFERENCES

1. Vasil'ev V.Ju., Ogurtsov A.N., Hovanov N.V. Organizacija specializirovannyh prilozhenij dlja GIS na principah ASPID-metodologii [Organization of specialized applications for GIS on the principles of ASPID-methodology] //Ustojchivoe razvitie territorij: geoinformacionnoe obespechenie i praktičeskij opyt. Materialy mezhdunarodnoj konferencii InterKarto 10. Vladivostok (Rossija) – Chan'chun' (KNR), 2004, pp.134–143 (in Russian).
2. Gennadijev A.N. Neft' i okružhajushhaja sreda [Oil and the environment] // Vestnik Moskovskogo. Universiteta, Ser. 5. Geografija, 2009, No 6, pp. 30–39 (in Russian).
3. Glazovskaja M.A. Metodologičeskie osnovy ocenki ekologo-geohimicheskoj ustojchivosti pochv k tehnogennym vozdejstvijam: metodičeskoe posobie [Methodological framework for the assessment of ecological-geochemical resistance of soils to anthropogenic impacts: a methodological guide], Moscow: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 1997, 102 p. (in Russian).
4. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. Podhody k ocenke i GIS-kartografirovaniju ustojchivosti i ekologičeskogo blagopoluchija geosistem. III. Integral'naja ocenka ustojchivosti pochvy i nazemnyh geosistem [Approaches to assessment and GIS mapping sustainability and environmental well-being of Geosystems. III. integrated assessment of the sustainability of soil and terrestrial geosystems], Vestnik SPbGU, Serija 7, Vyp.4, 2014, pp.114–130 (in Russian).
5. Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii. Versija 1.0.[Unified state register of soil resources of Russia. Version 1.0.], Kollektivnaja monografija, Moscow: Pochvennyj in-t im. V.V. Dokuchaeva Rossel'hoz akademii, 2014, 768 p. (in Russian).
6. Mashkin Ju. L., Orlov S. V., Razzhivin V. Ju., Ogurtsov A. N. Integral'naja ocenka i prostanstvennyj analiz potencial'noj ustojchivosti pochvennogo pokrova bol'shezemel'skoj tundry k zagraznjeniju neftjanymi uglevodorodami [Integrated assessment and spatial analysis of potential resistance of a soil cover of Bolshezemel'skaya Tundra to pollution by oil hydrocarbons], Inženernye izyskanija, 2013, No 13, pp. 60–67 (in Russian).
7. Nacional'nyj atlas pochv Rossijskoj Federacii [The Soil Atlas of the Russian Federation], Pod red. chl.-korr. RAN S.A.Shoby, Moscow: ASTREL, 2011, 632 p. (in Russian).
8. Ogurtsov A.N., Hovanov N.V. ASPID-kartografirovanie otsenok ekologičeskogo sostojanija i ustojchivosti geograficheskikh system [ASPID mapping of assessments of the ecological status and sustainability of geographic systems], GIS dlja ustojchivogo razvitiya territorij. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii InterCarto9, Novorosijsk-Sevastopol' 27–29 ijunja 2003 g., Sevastopol', 2003, pp. 370–377 (in Russian).
9. Ogurtsov A.N., Razzhivin V.Ju., Pigol'cina G.B., Hovanov N.V. Geoinformacionnyj analiz i sintez pokazatelej ustojchivosti pochvennogo pokrova k zagraznjeniju neftjanymi uglevodorodami pri informacionnom deficite [GIS-based analysis and synthesis of sustainability indicators of a soil cover to pollution by oil hydrocarbons at information deficiency], InterKarto/InterGIS 13: ustojchivoe razvitie territorij: teorija GIS i praktičeskij opyt, Materialy Mezhdunarodnoj konferencii Hanty-Mansijsk – Jellounajf, 12–24 avgusta 2007 g., Hanty-Mansijsk: Izd-vo Poligrafist, 2007, T. 1, pp. 189–196 (in Russian).

10. Poberezhnaya T.M. Landshaftno-geohimicheskie issledovaniya na Sahaline [Geochemical studies of landscapes on Sakhalin Island], Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk, 2006, No 1, pp. 109–114 (in Russian).
11. Sotnikova E.G., Lipatov D.N. Migracija uglevodorodov nefti v pochvah severo-vostoka ostrova Sahalin [Oil hydrocarbons migration in soils of the northeast of Sakhalin island], Vestnik Moskovskogo universiteta, Serija 17. Pochvovedenie, 2010, No 1, pp. 35–42 (in Russian).
12. Hovanov N.V. Analiz i sintez pokazatelej pri informacionnom deficite [Analysis and synthesis of indicators at information deficiency], St. Petersburg, 1996, 196 p. (in Russian).
13. Gennadiev A.N., Pikovskii Yu.I. The maps of soil tolerance toward pollution with oil products and polycyclic aromatic hydrocarbons: methodological aspects. Eurasian Soil Science, 2007, Vol. 40, № 1, pp. 70–81.
14. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Nikonova A.N. Chemical Contamination and Transformation of Soils in Hydrocarbon Production Regions. Eurasian Soil Science, 2015, Vol. 48, No. 12, pp. 1370–1382.

УДК 556.01

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-154-167

С.В. Пьянков¹, Н.Г. Максимович², Е.А. Хайрулина³, А.Н. Шихов⁴, Р.К. Абдуллин⁵

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РАЙОНАХ С КРИТИЧЕСКОЙ ТЕХНОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются особенности создания бассейновой геоинформационной системы (ГИС), предназначенной для организации экологического мониторинга, оценки и прогнозирования негативных последствий техногенного воздействия в районах с критической техногенной нагрузкой (на примере расположенного в Пермском крае ликвидированного Кизеловского угольного бассейна). Рассмотрен мировой опыт применения ГИС-технологий для решения экологических проблем угледобывающих районов. Представлена информационная основа и структура картографической и атрибутивной базы данных ГИС Кизеловского угольного бассейна. Выделены основные задачи создания ГИС, включающие инвентаризацию источников воздействия, выявление закономерностей пространственно-временного распределения загрязняющих веществ, количественную оценку и картографирование экологического состояния территории, прогноз экологической ситуации и планирование природоохранных мероприятий. Предложена система пространственных критериев для комплексной оценки экологического состояния территории угольных бассейнов, которая позволит проводить мониторинг происходящих изменений окружающей среды и выявлять территории с наиболее

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; Пермь, ул. Генкеля, 8, 614990, Россия; *e-mail*: pyankovsv@gmail.com

² Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, лаборатория геологии техногенных процессов; Пермь, ул. Генкеля, 4, 614990, Россия; *e-mail*: max54@gmail.com

³ Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, лаборатория геологии техногенных процессов; Пермь, ул. Генкеля, 4, 614990, Россия; *e-mail*: elenakhay@gmail.com

⁴ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; Пермь, ул. Генкеля, 8, 614990, Россия; *e-mail*: and3131@inbox.ru

⁵ Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики; Пермь, ул. Генкеля, 8, 614990, Россия; *e-mail*: rinaha-26@mail.ru